

Sekundární signálové dokrytí systému DVB-T DVB-T Gap-Filler

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Rudolf Medula**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: **Sekundární signálové dokrytí systému DVB-T.
DVB-T Gap-Filler**

Zásady pro vypracování:

Pokrytí území ČR signálem DVB-T z vysílačů primárního významu je v současné době dokončeno. Dalším krokem v této problematice je dokrytí problematických míst pomocí signálových opakováčů a dokrývačů. Práce si klade za cíl zmapovat všechny dostupné možnosti sekundárního signálového dokrytí problematických území.

1. Popište možné varianty sekundárního signálového dokrytí systému DVB-T.
2. Popište možné problémy při sekundárním dokrývání.
3. Navrhněte optimální metodu dokrytí zadaného území.
4. Proveďte měření možných negativních jevů v analyzovaném místě.

Seznam doporučené odborné literatury:

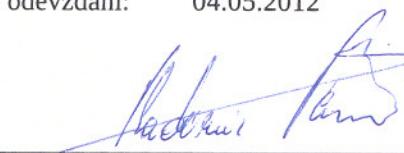
LEGÍŇ, Martin. *Televizní technika DVB-T*. 1. vyd. Praha : BEN, 2006. 288 s. ISBN 80-7300-204-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

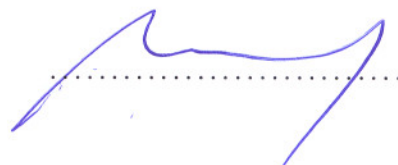
Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 *Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava*.

V Ostravě 26. dubna 2012



Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 26. dubna 2012



Rád bych na tomto místě poděkoval Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. za profesionální vedení a spoustu užitečných rad při mé práci. Také bych rád poděkoval svému zaměstnavateli, že mi umožnil použití vysílací a měřicí techniky potřebné pro mou práci.

Abstrakt

Cílem mé diplomové práce bylo zmapovat možnosti sekundárního dokrytí území signálem pozemního vysílání digitální televize v systému DVB-T. Dalším úkolem bylo ukázat možné problémy při dokrývání nepokrytých území. V závěrečné části mé práce byl navržen optimální způsob řešení dokrytí ve vytipovaném místě a provedeno měření možných negativních jevů.

Klíčová slova: DVB-T, dokrývač, převaděč, opakovací, pokrytí, echo, výkon, vstupní úroveň signálu

Abstract

The aim of this thesis is to describe the possibility of a secondary signal coverage of terrestrial digital broadcasting in DVB-T. The following chapter describes possible problems in uncovered area. In the final part of this work is proposed an optimal coverage solution of chosen uncovered area. The designed and realized solution is finally proved by measurement.

Keywords: DVB-T, Gap-Filler, Transposer, Repeater, Signal coverage, Echo, Power, Input level

Seznam použitých zkratek a symbolů

BER	– Bit Error Ratio, Bitová chybovost
ČRa	– České Radiokomunikace
ČT	– Česká televize
ČTÚ	– Český telekomunikační úřad
DBPSK	– Differential Binary Phase Shift Keying, Diferenční dvoustavová fázová modulace
DVB-T	– Digital Video Broadcasting - Terrestrial, Pozemní digitální vysílání
DVB-T2	– Digital Video Broadcasting - Terrestrial 2, Pozemní digitální vysílání v systému T2
ERP	– Effective Radiated Power, Efektivní vyzářený výkon
EVM	– Error Vector Magnitude, Velikost chybového vektoru
HD	– High Definition, Vysoké rozlišení
MER	– Modulation Error Ratio, Modulační chybovost
MPEG	– Moving Picture Experts Group, Skupina expertů pro pohyblivý obraz
MUX	– Multiplex digitální televize
OFDM	– Orthogonal Frequency Division Multiplex, Ortogonální frekvenčně dělený multiplex
PAS	– Přijímací anténní systém
SFN	– Single Frequency Network, Jednofrekvenční síť
UHF	– Ultra High Frequency, Ultra vysoká frekvence
VAS	– Vysílací anténní systém
VHF	– Very High Frequency, Velmi vysoká frekvence
VŠB-TUO	– Vysoká škola báňská - Technická universita Ostrava

Obsah

1	Úvod	2
2	Možné varianty sekundárního signálového dokrytí systému DVB-T	3
2.1	Vysílač malého výkonu	4
2.2	Převaděč	5
2.3	Opakovač	5
3	Možné problémy při budování a provozu dokrývačů	8
3.1	Přidělení kmitočtu pro dokrývač	8
3.2	Primární signál	10
3.3	Vlastní echo a odrazy	14
3.4	Provoz sousedních dokrývačů na shodné frekvenci	20
3.5	Vícenásobný převod	27
4	Návrh řešení pokrytí problematického území	29
4.1	Teoretický návrh na základě simulací	30
4.2	Praktická realizace	36
5	Závěr	45
6	Reference	46
	Přílohy	47
A	Pokrytí ČR signálem DVB-T a parametry vysílání multiplexů	48
B	Simulace provozu dvou dokrývačů v SFN síti	53
C	Simulace pokrytí vytipovaného území	74

1 Úvod

V roce 2011 byla v České Republice dokončena hlavní část digitalizace pozemního televizního vysílání. Celý proces digitalizace byl zahájen v roce 2005 spuštěním prvního vysílače v Praze. Postupně se uváděly do provozu další vysílače multiplexu České televize, nejprve v Čechách a poté na Moravě. O dva roky později bylo zahájeno vysílání druhého multiplexu, který obsahuje programy soukromých televizních stanic Novy, Primy a Barrandova. Následně se k vysílačům prvního a druhého multiplexu přidaly ještě vysílače šířící obsah třetího multiplexu. Jeho pokrytí však nedosahuje takového rozsahu, jako u sítí vysílačů multiplexu jedna a dvě. Řádné vysílání čtvrtého multiplexu Telefonicy O2 nebylo nikdy zahájeno a v současné době byl celý multiplex prodán společnosti Digital Broadcasting s.r.o.. V době, kdy byly základní sítě primárních vysílačů velkého výkonu umístěné na vysokých kótách dostavěny, bylo možno začít budovat síť sekundárních vysílačů v místech bez možnosti příjmu signálu pozemní digitální televize (DVB-T). Ukázalo se, že signál pozemního digitálního vysílání ve IV. a V. televizním pásmu je možno přijímat na mnoha místech, kde byl dříve signál analogové televize zcela nepoužitelný. Pro bezchybný příjem digitálního vysílání stačí výrazně nižší úroveň přijímaného signálu než v případě příjmu analogové televize. Přesto zůstává mnoho nepokrytých území, kde je potřeba vybudovat digitální opakovač či převaděč. V následující kapitole bude proveden rozbor možných variant dokrytí území signálem digitálního televizního vysílání. Další kapitola bude věnována popisu možných negativních jevů a komplikací při návrhu, budování a provozu digitálních dokrývačů. Cílem poslední kapitoly bude teoretický návrh dokrytí vytipovaného území v Moravskoslezském kraji a popis skutečné realizace pokrytí, včetně měření v této oblasti.

2 Možné varianty sekundárního signálového dokrytí systému DVB-T

Dříve než budou popsány jednotlivé varianty dokrytí televizním signálem v systému DVB-T, bude uveden současný stav digitalizace v České republice, zejména pak na území Moravskoslezského kraje. Od počátku digitalizace televizního vysílání v České republice vydává Český telekomunikační úřad (ČTÚ) průběžné zprávy o pokrytí území signálem DVB-T a analogové televize. Zatím poslední je *Zpráva č.8. dle nařízení vlády č. 161/2008 Sb.*[1] vydaná k 15. březnu 2012. Dle této zprávy je pokrytí území signálem jednotlivých multiplexů digitální televize následující:

- MUX1 - 99,9 %
- MUX2 - 99,8 %
- MUX3 - 96,3 %
- MUX4 - 22,7 %

Dále tato zpráva uvádí počet vysílačů jednotlivých vysílacích sítí. Vysílače digitální televize jsou pro účely této zprávy rozděleny do dvou kategorií. První kategorie jsou vysílače velkého výkonu nad 500 W efektivního vyzářeného výkonu (ERP) a druhá kategorie zahrnuje vysílače malého výkonu do 500 W ERP. Kategorie vysílačů malého výkonu obsahuje také digitální opakovače a převaděče. Počty vysílačů provozované v jednotlivých sítích k 15. březnu 2012 jsou následující:

- MUX1 - 28 vysílačů velkého výkonu a 80 vysílačů malého výkonu
- MUX2 - 26 vysílačů velkého výkonu a 50 vysílačů malého výkonu
- MUX3 - 17 vysílačů velkého výkonu a 7 vysílačů malého výkonu
- MUX4 - 4 vysílače velkého výkonu

Na území Moravskoslezského kraje je v současné době v provozu pět vysílačů velkého výkonu v sítích multiplexu jedna a dvě. Sít' vysílačů multiplexu tři obsahuje pouze tři vysílače velkého výkonu. Malých vysílačů je sedm pro multiplex jedna a sedm pro multiplex dvě. Program multiplexu tři v současné době nešíří žádný vysílač malého výkonu. Mapy pokrytí a parametry vysílání jednotlivých multiplexů digitálního televizního vysílání jsou uvedeny v příloze A.

Varianty, jakým způsobem je možno dokrýt území pozemním digitálním signálem v systému DVB-T, jsou v podstatě pouze tři. Jednou z nich je výstavba televizního vysílače malého výkonu s ERP do 500 W, druhou je provoz televizního digitálního převaděče. Konečně poslední, třetí variantou je digitální televizní opakovač. Všechny tři varianty jsou uvažovány ve IV. a V. televizním pásmu, tedy v pásmu UHF. Kmitočty nad 790 MHz se neuvažují, jsou určeny pro jiné využití v rámci tzv. digitální dividendy¹. Každá z vyjmenovaných tří variant má své výhody a na druhé straně také nevýhody. Vždy záleží

¹Digitální dividendy - využití části pásma 470 – 862 MHz mobilními komunikačními sítěmi. Jeden z hlavních důvodů k přechodu od analogového televizního vysílání k digitálnímu. Uvolněná část kmitočtového spektra se využije pro mobilní datové přenosy.

na pečlivém zvážení všech okolností v každém konkrétním místě. na základě těchto úvah se poté zvolí ze všech variant ta nejvýhodnější. Nutno podotknout, že se poměrně často volí ta varianta, která přináší nejméně problémů. V následujících třech kapitolách bude proveden rozbor jednotlivých možností.

2.1 Vysílač malého výkonu

První variantou, jak pokrýt území bez možnosti příjmu signálu DVB-T je vybudovat v daném místě vysílač malého výkonu. V podstatě jedinou výhodou tohoto řešení je nezávislost na přítomnosti primárního signálu, který je potřebný při provozu převaděče nebo opakováče. Na druhou stranu je však nutné na vstup vysílače dopravit vstupní modulaci, v případě vysílání pozemní digitální televize transportní tok daného multiplexu ve formátu ASI ². Při nastavení parametrů transportního toku, které používají multiplex 1 a 2 to znamená dopravit na vstup vysílače datový tok téměř 20 megabitů za sekundu. To však vyžaduje vybudování datového spoje E3 ³ o kapacitě 34 Mbit/s z místa, kde je transportní tok k dispozici na objekt, kde se uvažuje o výstavbě a provozu vysílače DVB-T malého výkonu. Ve většině případů se tyto lokality nachází v horských oblastech bez přímé viditelnosti na objekty, kde jsou umístěny primární vysílače. Objekty s primárními vysílači jsou v drtivé většině budovy Českých Radiokomunikací. Na těchto lokalitách je transportní tok daných multiplexů k dispozici. Vybudování rádioreléového datového spoje na objekt s uvažovaným vysílačem malého výkonu by bylo možné do vzdálenosti několika kilometrů až několika málo desítek kilometrů, a to pouze na objekty s přímou viditelností. Tím se možnost volby tohoto řešení značně zúžuje. Vyžadovalo by to také velké náklady na pořízení mikrovlnného spoje o potřebné datové kapacitě. Na straně vysílače by bylo nutné osadit převodník signálu z E3 na ASI, například zařízení Merlin od firmy Barco, nebo jeho levnějšího předchůdce Alcor. Vybudování a provoz tohoto spoje by byl také ekonomicky nákladný a tím by se stal i provoz vysílače malého výkonu neúměrně nákladnější než provoz převaděče či opakováče. Navíc je třeba uvážit, že u multiplexu 1 zajišťuje distribuci signálu na jednotlivé vysílače společnost O2. Tato společnost však sama neprovozuje žádné vysílače v této síti a je tedy otázkou, kdo by zajišťoval datový spoj s obsahem multiplexu 1 na uvažovaný vysílač. Jiná situace je u multiplexu 2, který vlastní a provozuje společnost České Radiokomunikace. Zároveň zajišťuje také distribuci transportního toku k jednotlivým vysílačům. V tomto případě by bylo technicky reálné transportní tok k některým vysílačům malého výkonu zajistit. Příkladem objektu, kde by to bylo možné, je vysílač Radhošť, který je majetkem Českých Radiokomunikací a má potřebnou datovou kapacitu k dispozici. Stále je ovšem velkým problémem cena takového řešení. Z tohoto popisu je zřejmé, že tato varianta dokrývání území je spíše teoretická a v praxi se na našem území nevyskytuje. I když kvalita takového vysílání je

²ASI - Asynchronous Serial Interface. Datový formát, který obsahuje jeden nebo více obrazových programů zakódovaných ve standartu MPEG-2 pro standartní rozlišení nebo MPEG-4 pro vysoké rozlišení. Dále může obsahovat jeden nebo více zvukových a datových toků. Signál ve formátu ASI je možno přímo připojit ke vstupu vysílače v systému DVB-T.

³E3 - Přenosový multiplexový trakt 3.řádu s kapacitou cca 34 Mbit/s, ve kterém je multiplexováno 16 traktů E1, přenášených jedním dvoudrátovým rozhraním (G.703)

zcela nezávislá na kvalitě vstupního signálu jako v případě převaděče nebo opakováče. Ekonomické náklady na výstavbu a provoz tuto výhodu zcela potlačují.

2.2 Převaděč

Na rozdíl od vysílače malého výkonu převaděč digitálního televizního signálu nepracuje se vstupním transportním tokem. Základním principem jeho činnosti je převod vstupního vysokofrekvenčního signálu digitální televize z jednoho kanálu v televizním pásmu UHF na jiný kanál v témže televizním pásmu. Z toho vyplývá, že televizní digitální převaděč je možno vystavět pouze v takové lokalitě, kde je k dispozici primární signál z vysílače základní sítě toho multiplexu, jehož signál se má dále převaděčem šířit. V dalších kapitolách bude ukázáno, že ne vždy musí být primární signál na vstupu převaděče signálem základního vysílače v síti, ale někdy je nutno přistoupit k využití signálu z jiného dokrývače, ať už převaděče nebo opakováče. Toto řešení s sebou přináší jistě nevýhody, které budou rozebrány později.

Digitální televizní převaděč pracuje v principu tak, že na jeho vstup přichází televizní digitální signál z přijímací antény přes kanálový filtr. Tento signál je vstupním dílem televizního převaděče upraven na vhodnou napětovou úroveň a poté je na prvním směšovači frekvenčně převeden na mezifrekvenci. Na mezifrekvenci je signál upraven tak, aby byl po průchodu druhým směšovačem a výstupním koncovým stupněm v takových parametrech, které vyžadují předpisy pro digitální televizní vysílání v systému DVB-T. Vstupní signál se tedy v digitálním převaděči nedemoduluje na úroveň transportního toku, celé zpracování se provádí pouze na vysokofrekvenční a mezifrekvenční úrovni. Pokud by se signál demoduloval až na úroveň transportního toku, musel by následovat modulátor. Toto uspořádání se v praxi nevyužívá.

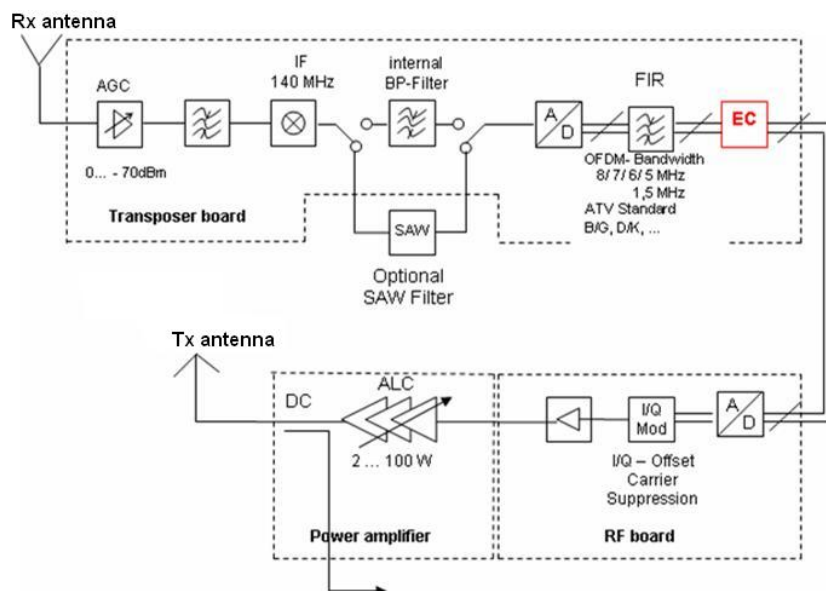
Výhodou použití převaděče oproti opakováči je především to, že nevzniká problém s vlastním *echem* zařízení ani s odrazy vysílaného signálu od okolí. Zřejmou a největší nevýhodou je nutnost provozu na jiném kanále, než na kterém vysílá primární vysílač. K přechodu na digitální vysílání došlo mimo jiné proto, aby se ušetřila co největší část kmitočtového spektra v televizních pásmech pro jiné využití, například mobilní širokopásmový datový přenos. Nasazování digitálních televizních převaděčů tuto možnost využití uspořené kmitočty snižují. Na druhé straně je třeba říci, že digitální televizní převaděče pracují s velmi nízkými vyzářenými výkony ERP a jsou to zařízení pouze lokálního významu na malém území. Nicméně první volbou, jak pokrýt území signálem DVB-T je nasazení digitálního televizního opakováče, který bude popsán v následující kapitole.

2.3 Opakovač

Poslední z variant, jak pokrýt území bez signálu DVB-T z primárních vysílačů, je použití digitálního opakováče, *repeatru*. Tato možnost je velmi preferována z toho důvodu, že jeho vysílání nezabírá další část kmitočtového spektra v televizním pásmu UHF. Opakovač vysílá na stejném kanále jako je přijímaný signál na jeho vstupu. Toto je ale vlastně jeho jediná výhoda oproti převaděči televizního signálu. Vysílací anténní systém (VAS)

je zpravidla umístěn na stejném anténním nosiči jako přijímací anténní systém (PAS). To při vysílání na stejné frekvenci jako je přijímaný signál nutně vede k přeslechu signálu z VAS do přijímaného signálu na PAS. Tento přeslech je označován jako *echo*. Problematiku jeho potlačení rozeberu v samostatné kapitole později. K tomuto tzv. vlastnímu *echu* zařízení ještě přistupují další signály na téže frekvenci s různým časovým posuvem dopadající na PAS a tudíž na vstup opakovací. Jedná se o signály odražené od terénních překážek v okolí opakovací, kterých je bohužel zpravidla mnoho. Je to dáno tím, že digitální vykrývače jsou provozovány většinou ve velmi složitých horských terénech, tak aby pokryly údolní území. Problémy při provozu opakovací je tedy nutno analyzovat a následně eliminovat především v časové oblasti. K tomu je zapotřebí mít k dispozici měřicí techniku, která takovou analýzu umožňuje. Při mé práci byl k dispozici měřicí přístroj ETL firmy Rohde & Schwarz.

Princip činnosti všech dostupných opakováčů na trhu je v podstatě stejný. Vstupní signál z PAS je přes vstupní kanálový filtr přiveden na vstupní zesilovač. Dále signál postupuje přes přeladitelný vstupní filtr na první směšovač, na jehož výstupu je k dispozici mezifrekvenční signál o frekvenci 140 MHz. Tento signál je přiveden na vnitřní mezifrekvenční SAW filtr, což je filtr s povrchovou akustickou vlnou. Potlačení kmitočtu mimo kanál je v případě použití SAW filtru až 70 dB. Na mezifrekvenci je signál digitálně upraven, případně je zde zapojen tzv. *echo canceller* pro potlačení *echa*. Poté je signál frekvenčně převeden na výstupní kanál, v případě opakovací shodný se vstupním. Blokové schéma digitálního opakovací je znázorněno na obr. 2.1. Toto schéma je shodné se schématem digitálního převaděče pouze s výjimkou bloku EC, tedy *echo cancelleru*. Ten v případě převaděče nemá smysl.

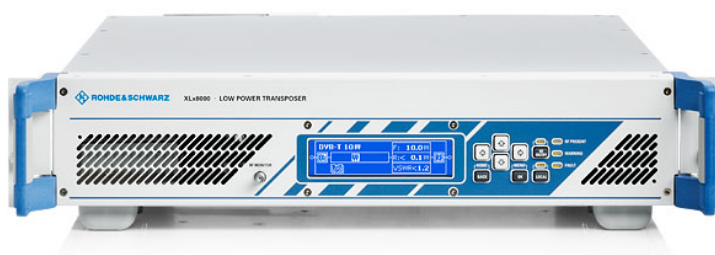


Obrázek 2.1: Blokové schéma opakovací

V dalších kapitolách budou rozebrány jednotlivé možné problémy při provozu digitálních dokrývačů. Na základě simulací, laboratorních testů a praktických měření v terénu bude navrženo dokrytí skutečného území v okolí Vsetína.

3 Možné problémy při budování a provozu dokrývačů

V následujících kapitolách budou kromě teoretických rozborů uvedena praktická měření, která byla prováděna na zařízení XLV8025 firmy Rohde & Schwarz při plánování dokrytí území uvedeného v kapitole 4. Fotografie dokrývače, *Gap-filleru*, je uvedena na obr. 3.1. K měření byl k dispozici měřicí přístroj ETL taktéž firmy Rohde & Schwarz, obr. 3.2. Některá měření byla prováděna v laboratorních podmínkách, některá pak v reálném terénu. Výsledky a zjištění obsažena v kapitole 3 byly použity jako podklady pro návrhy popsané v kapitole 4.



Obrázek 3.1: Gap-filler XLV8025 firmy Rohde & Schwarz [5]



Obrázek 3.2: Měřicí přístroj ETL firmy Rohde & Schwarz [6]

3.1 Přidělení kmitočtu pro dokrývač

V době analogového televizního vysílání byly na většině lokalit s vysílači malého výkonu nebo převaděči v provozu tři nebo čtyři programy. Drtivá většina z nich vysílala v UHF televizním pásmu mezi 470 a 862 MHz. Po jejich vypnutí by se mohlo nabízet využití těchto uvolněných kmitočtů k vysílání digitální televize na stejných objektech. Situace ale není tak jednoduchá, jak by se mohlo zdát. Jak už bylo zmíněno dříve, jedním

z hlavních důvodů zavádění digitálního televizního vysílání je úspora části kmitočtového spektra právě v tomto televizním pásmu UHF. Je proto zájmem správce kmitočtového spektra, tedy Českého telekomunikačního úřadu, přidělovat pro dokrývače přednostně stejné kmitočty, na kterých v dané územní oblasti vysílají vysílače velkého výkonu v primární síti. Z toho vyplývá snaha primárně vydávat kmitočtové přiděly pro provoz opakovací. Teprve v momentě, kdy se provoz opakovací ukáže být nereálným, přistupuje se k přidělení kmitočtu pro provoz převaděče.

Dne 2.dubna. 2010 byla vydána a 1.května 2010 vstoupila v platnost *Vyhláška 105 sb.38 o plánu přidělení kmitočtových pásem* [2]. Její součástí je národní kmitočtová tabulka. Tato vyhláška určuje mimo jiné, která kmitočtová pásma jsou určena pro jednotlivé radiokomunikační služby. z pohledu této práce je zajímavá část UHF pásma mezi 470 a 862 MHz. Toto pásmo je ve vyhlášce navíc rozděleno na 3 subpásma. Pro každé subpásmo jsou stanoveny radiokomunikační služby, pro které je určeno. V oddílu III. vyhlášky jsou definovány jednotlivé radiokomunikační služby:

- **Rozhlasová služba:** je služba, jejíž vysílání je určeno k přímému příjmu širokou veřejností. Tato služba může zahrnovat zvuková vysílání, televizní vysílání nebo jiné druhy vysílání.
- **Pohyblivá služba:** je radiokomunikační služba mezi pohyblivými stanicemi a pozemními stanicemi nebo mezi pohyblivými stanicemi navzájem, např. družicová, letecká, námořní.
- **Pozemní pohyblivá služba:** je pohyblivá služba mezi základnovými stanicemi a pozemními pohyblivými stanicemi nebo mezi pozemními pohyblivými stanicemi navzájem.

Část kmitočtového spektra mezi 470 a 862 MHz je rozdělena takto a jsou zde definovány tyto radiokomunikační služby:

- 470 - 645 MHz
 - Rozhlasová služba
 - Pozemní pohyblivá služba
 - Radioastronomická služba
- 645 - 790 MHz
 - Rozhlasová služba
 - Pozemní pohyblivá služba
- 790 - 862 MHz
 - Rozhlasová služba
 - Pohyblivá služba, kromě letecké

Z tohoto výčtu je patrné, že bývalé televizní UHF pásmo již není vyhrazeno pouze televiznímu vysílání, ale je určeno také pro jiné radiokomunikační služby, především pozemní pohyblivé. Pod tímto pojmem je možno si představit především mobilní širokopásmový datový přenos. Tato změna je důsledkem hledání tzv. digitální dividendy.

Tímto pojmem se označuje právě snaha o úsporu kmitočtů v bývalém UHF televizním pásmu a jejich následné využití pro jiné radiokomunikační služby než rozhlasové. Je pravděpodobné, že snahou ČTÚ je a do budoucna jistě bude pro pozemní pohyblivé radiokomunikační služby vyhradit velkou část tohoto kmitočtového pásma. Je tedy logické, že pro digitální televizní vysílání se budou kmitočty mimo základní síť vysílačů hledat velmi obtížně. V tabulce 3.1 je uveden přehled kmitočtů využívaných v základních sítích vysílačů jednotlivých vysílačů.

Kanál	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
MUX1	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	x	x	-	x	-
MUX2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x
MUX3	-	x	-	-	x	-	-	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-
Kanál	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
MUX1	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x
MUX2	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-	x	x	-
MUX3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	x	-	-
Kanál	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69		
MUX1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
MUX2	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
MUX3	x	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Tabulka 3.1: Využití kmitočtového pásma 470 - 862 MHz vysílači primární sítě jednotlivých multiplexů. [8] [9] [10]

Z této tabulky lze vypožorovat, že kmitočty nad 790 MHz, tedy nad 60. televizním kanálem, se pro pozemní digitální vysílání nepřidělují a jsou zamýšleny pro jiné využití, dle národní kmitočtové tabulky pro pohyblivé radiokomunikační služby. Taktéž je možno pozorovat, že spodní část bývalého UHF televizního pásma je obsazena velmi sporadicky. Jsou zde pouze dva vysílače v síti multiplexu 3, České budějovice - Klet' na 22. kanále a Zlín - Tlustá hora na 25. kanále. Jedná se o osamocené vysílače a na velké části území České republiky je prostor pro využití této části kmitočtového spektra mezi 470 a 534 MHz pozemními pohyblivými radiokomunikačními službami. Další volnou část kmitočtového spektra lze nalézt mezi kmitočty 42. a 47. televizního kanálu, kde vysílá pouze vysílač multiplexu 1 v Liberci, Ještěd. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že je poměrně obtížné najít vhodný kmitočet pro provoz digitálního televizního převaděče. Počet volných televizních kanálů je značně omezen. Pokud je to možné, přidělují se výhradně kmitočty, které jsou v síti daného multiplexu již použity u vysílačů velkého výkonu.

3.2 Primární signál

Jedním z prvních kroků při uvažované výstavbě digitálního dokrývače je analýza dané lokality z hlediska dostupnosti a kvality primárního signálu. Na jejím základu se následně může zvolit optimální řešení dokrytí. Pokud je primární signál v dostatečné úrovni a kva-

litě pro opakovač, volí se prioritně tato varianta provozu dokrývače. Primární signál je třeba hodnotit podle více kritérií:

- Úroveň signálu
- Frekvenčně - amplitudová charakteristika, tzv. digitální spektrum
- BER - bitová chybovost
- MER - modulační chybovost
- Stabilita v čase

Nestačí primární signál hodnotit pouze na základě jeho úrovně, protože i dostatečně silný signál nemusí vyhovovat z hlediska bitové či modulační chybovosti, tedy BER a MER. Signál může být degradován rušením, vícecestným šířením nebo odrazy. Především u signálu, který přichází ze vzdálených primárních vysílačů je velmi důležité při posuzování kvality uvažovat změny klimatických podmínek a ponechat dostatečnou rezervu pro pokles úrovně zejména v zimních měsících. Z jednoho měření vstupního signálu nelze vyvodit závěr, že takovéto parametry bude mít signál po dobu celého roku. Je vhodné měření opakovat při různém počasí, zejména při husté mlze nebo nízké oblačnosti. Tímto se dá předejít pozdějším problémům při provozu dokrývače. při příjmu signálu z primárního vysílače, na který není z lokality s dokrývačem přímá viditelnost, je tato opatrnost zvláště důležitá.

Dříve než se přistoupí k měření dostupných primárních signálu na objektu dokrývače, je vhodné analyzovat dané místo některým ze simulačních softwarů pro výpočet pokrytí území televizním signálem. Příkladem takového softwaru je RadioLab, který je ovšem licencovaný, placený. Srovnatelně výkonný a přitom volně dostupný je program Radio Mobile. Tento program byl použit pro všechny simulace v této práci. V programu Radio Mobile je možno zadávat geografické parametry vysílacích stanovišť, výšku vysílací antény, vyzářovací diagramy anténního systému, vyzářený výkon apod. Dále je možno nastavit výšku přijímací antény, úroveň intenzity elektromagnetického pole, pro kterou je pokrytí vykresleno. Program nabízí také možnost vykreslit terénní profil mezi dvěma stanovišti.

Analýza simulačním programem ukáže, které vysílače základní sítě je možno uvažovat jako zdroj vstupního signálu pro dokrývač v dané lokalitě. Poté je možno přistoupit k vlastnímu měření v terénu. Pokud je to reálné, je vhodné měřit primární signál ve více výškách na stožáru, kde bude v budoucnu umístěn přijímací anténní systém. Ne vždy je elektromagnetické pole homogenní a není pravidlem, že čím výše je přijímací anténa umístěna, tím je signál kvalitnější. Je nutno pečlivě zvolit umístění přijímacího systému. Vzhledem k tomu, že velká většina objektů vhodných pro digitální dokrývač je umístěna v lesním porostu, je třeba počítat s růstem stromů a zachovat dostatečnou výškovou rezervu.

Na obr. 3.3 je vykreslena obrazovka měřicího přístroje, na které jsou zobrazeny klíčové parametry měřeného primárního signálu. Především jeho úroveň, bitová a modulační chybovost, počet chybných paketů.

Hodnota MER(rms) je střední hodnota modulační chybovosti vypočtená z hodnot MERu jednotlivých nosných. Tato hodnota však zcela nepostihne degradaci úrovně modulační chybovosti na části nosných, například z důvodu úzkopásmového rušení, které

R&S ETL Digital Overview

S/N 102124, FW 2.32

Ch: 36

RF 594.000000 MHz

DVB-T/H 8 MHz

* Att 0 dB

ExpLvl -47.50 dBm

MER (rms)

35.1 dB

Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-56.7		10.0	dBm
Constellation			64 QAM NH / normal			
MER (rms)	24.0		35.1		-----	dB
MER (peak)	10.0		13.8		-----	dB
EVM (rms)	-----		1.15		4.40	%
EVM (peak)	-----		13.37		22.00	%
BER before Viterbi			8.0e-6(10/10)		1.0e-2	
BER before RS			0.0e-8(85/100)		2.0e-4	
BER after RS			0.0e-7(55/100)		1.0e-10	
Packet Error Ratio			0.0e-5(55/100)		1.0e-8	
Packet Errors			0		1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-8.4		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882			Mbit/s

OLim

PSPA

64 QAM NH (64NH)

FFT 8k (8k)

GI 1/4 (1/4)

2/3,2/3 (2/3,2/3)

CellID 0

TPS Res. 0,0,0,0

INT N (N)

MPE FEC Off/Off

Time Sl. Off/Off

L1 1F

Lvl -56.6dBm | BER 0.0e-8 | MER 35.1dB

DEMOD

MPEG

Obrázek 3.3: Parametry měřeného vstupního signálu

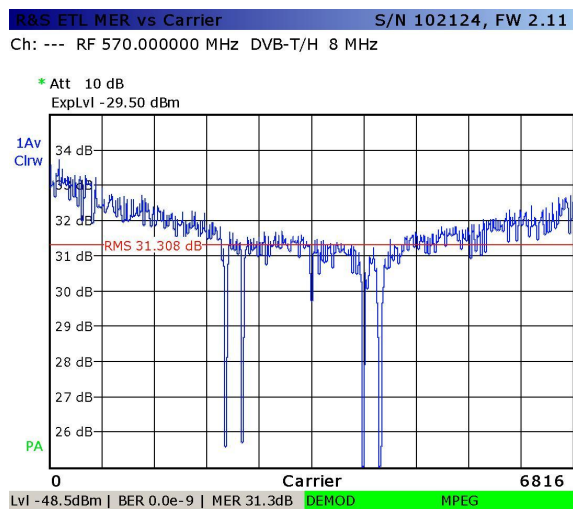
se nachází v části televizního kanálu. Proto je velmi důležitý parametr MER(peak), který právě tuto situaci popisuje. Jde vlastně o nejnižší hodnotu modulační chybovosti na všech nosných. na obr. 3.4 je znázorněná právě situace, kdy střední hodnota modulační chybovosti je v naprostém pořádku, ale některé nosné jsou zcela degradovány. Hodnota parametru EVM (Error Vector Magnitude), velikost chybového vektoru, je přímo úměrná hodnotě parametru MER. Je pouze jejím jiným vyjádřením. Zatímco hodnota MER je udávána v decibelech, hodnota EVM je uváděna v procentech. Hodnota bitové chybovosti BER je zde uvedena v různých částech přijímacího řetězce, před Viterbiho dekodérem ⁴, před a za Reed - Solomonovým dekodérem ⁵. Hodnota Packet Error Ratio udává poměr chybných paketů ke všem přijatým paketům. Ve spodní části tabulky jsou uvedeny informace vysílané na tzv. TPS pilotech ⁶. Minimální požadavky na hodnotu jednotlivých parametrů jsou uvedeny ve sloupci Limit.

Obr. 3.5 znázorňuje digitální spektrum měřeného signálu. Při měření spektra je důležitý nízký rozptyl amplitud jednotlivých nosných v pásmu 7, 61 MHz a dále pokles ramen, který se měří na frekvencích $\pm 4,2$ MHz od kmitočtu střední nosné, hodnoty zobrazují markry D2 a D3. Jsou vztaženy k markru M1 umístěném ve středu kanálu. Vzhledem k použití velmi ostrých filtrů na vstupu dokrývače a také na mezifrekvenční části nejsou produkty mimo přijímaný kanál pro provoz důležité a nijak kvalitu vysílání neovlivňují. Podstatná je především plochost amplitudové charakteristiky v televizním kanále. Případný náklon charakteristiky je možno na dokrývači korigovat.

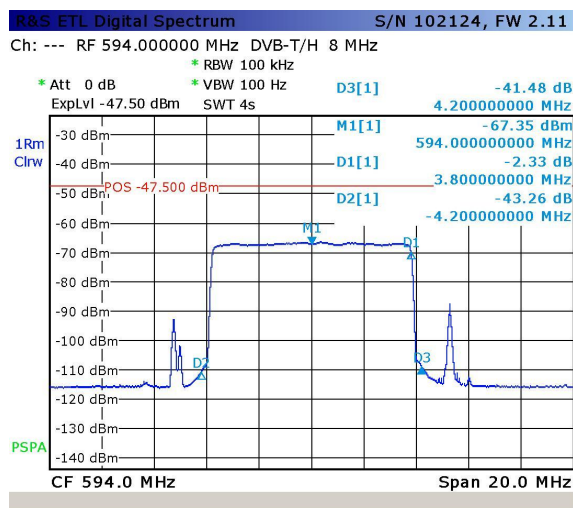
⁴Viterbiho dekodér - vnitřní dekodér, opak vnitřního konvolučního kodéru na vysílací straně

⁵Reed - Solomonův dekodér - vnější dekodér. Opak Reed - Solomonova vnějšího kodéru na vysílací straně

⁶Transmission Parameter Signaling - tyto piloty nesou informaci o použité modulaci, informaci o hierarchickém módu, velikosti ochranného intervalu, kódovém poměru konvolučního kodéru, vysílacím módu 2K nebo 8K apod. Nosné nesoucí tyto informace využívají vždy DBPSK modulaci.

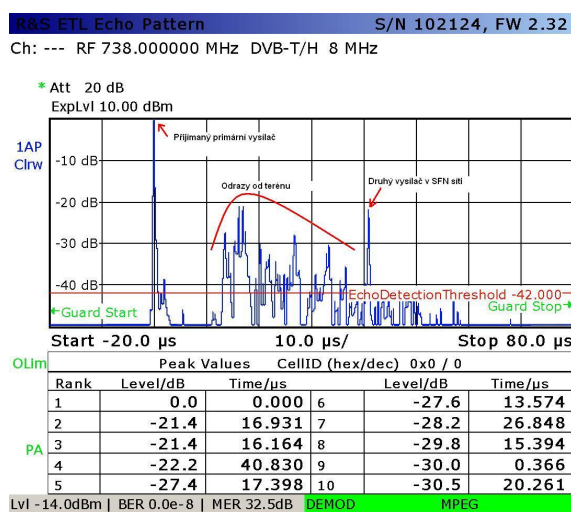


Obrázek 3.4: Degradace MERu na části nosných



Obrázek 3.5: Digitální spektrum měřeného vstupního signálu

Na posledním obr. 3.6 je tzv. Echo diagram. Zobrazuje signál vybraného televizního kanálu v časové oblasti. To umožňuje analyzovat vstupní signál především v jednofrekvenčních SFN sítích, kdy jsou znázorněny signály z různě vzdálených vysílačů postupně přicházející na vstup měřicího přístroje. Jsou zde vidět také signály odražené od různých terénních překážek a tím pádem zpožděné oproti signálům, které se šíří přímou cestou. Přijímací anténní systém je nutno nastavit tak, aby v případě příjmu primárního signálu v SFN síti základních vysílačů byl rozdíl úrovně zamýšleného primárního vysílače a ostatních vysílačů v síti co největší. V případě, že by byly na přijímací anténě signály ze dvou vysílačů v téměř shodné úrovni, byla by kvalita signálu velmi zdegradována. Tato situace bude rozeberrána v kapitole 3.4.



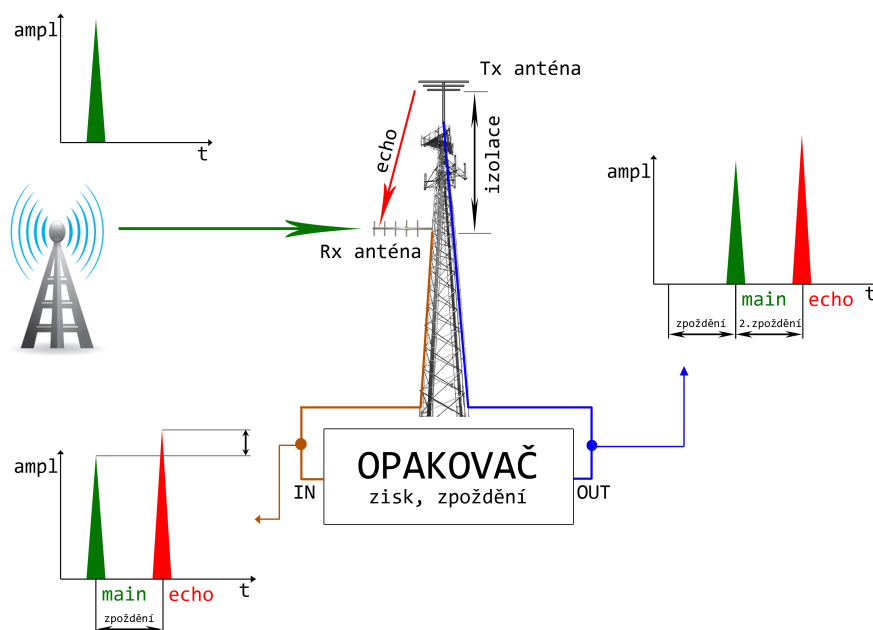
Obrázek 3.6: Echo diagram měřeného vstupního signálu

Na závěr je nutno podotknout, že jednotlivé parametry signálu spolu poměrně úzce souvisí. Většinou pokud nevyhovuje jeden z parametrů, jsou i ostatní nevyhovující. Výběr vhodného primárního signálu je klíčový pro pozdější bezproblémový provoz dokrývače a je nutno k němu přistupovat s velkou zodpovědností.

3.3 Vlastní echo a odrazy

V praktickém provozu dokrývače jsou téměř vždy umístěny přijímací a vysílací anténní systémy na společném stožáru. Při provozu v režimu převaděče to není podstatné. Při provozu dokrývače v režimu opakovače je však nutno se věnovat problému s tzv. vlastním *echem* zařízení a také odrazy vysílaného signálu od terénních překážek v okolí dokrývače. Je to způsobeno tím, že opakovač vysílá na stejném kmitočtu jako je přijímaný vstupní signál. Je tedy nevyhnutelné, že se vysílaný signál navazbí z vysílacího anténního systému na systém přijímací. Stejně tak odrazy od okolního terénu. Abychom mohli tento problém analyzovat, musíme použít měřicí přístroj schopný analýzy v časové oblasti,

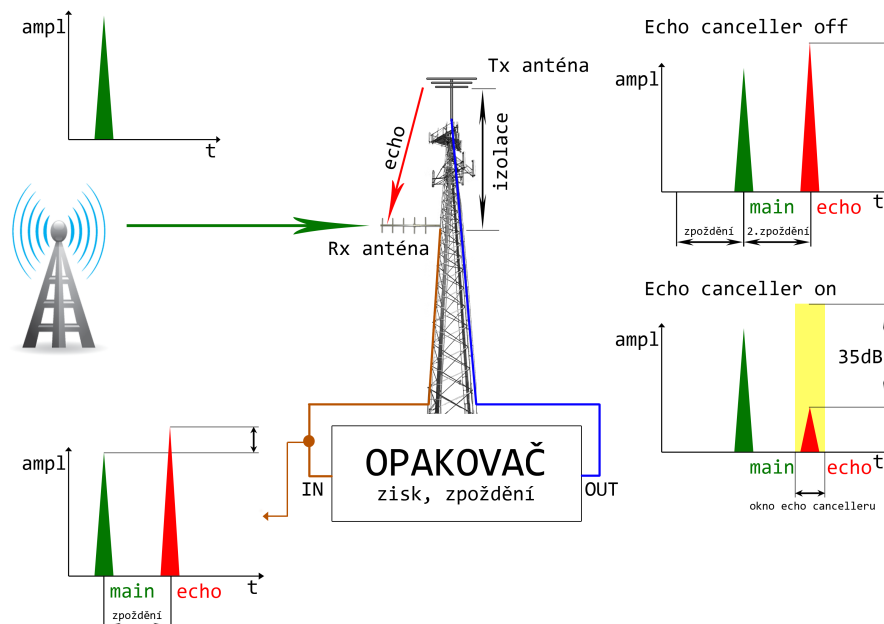
Time - Domain Analysis. Na obr. 3.7 je znázorněna situace vzniku *echa* u opakováče, který přijímá signál z jediného primárního vysílače.



Obrázek 3.7: Echo při příjmu jediného primárního vysílače

Na přijímací anténu dopadá vstupní signál z primárního vysílače, který je následně přiveden na vstup opakováče. Signál je opakováčem digitálně zpracováván, což způsobí jeho zpoždění při průchodu na výstupní konektor a následně vysílací anténu. Standardní doba zpoždění u opakováčů firmy Elti nebo Rohde & Schwarz je kolem $10 \mu s$. Mezi vysílacím a přijímacím anténním systémem dochází k tzv. přímému *echu*, v obrázku vyznačeno červenou šipkou a popsáno jako *echo*. Velmi důležitá je velikost izolace mezi oběma anténami. Pokud je izolace menší než je zisk celého opakováče, je vlastní *echo* opakováče vyšší než přijímaný signál z primárního vysílače a systém je značně nestabilní a neschopný provozu. Toto tvrzení platí v případě, že opakováč nevyužívá *echo canceller*. Na obr. 3.8 je ukázána situace ve stejných podmínkách, ovšem je zde vyznačen rozdíl na výstupu opakováče při zapnutém a vypnutém *echo cancelleru*. Výrobci udávají hodnotu potlačení *echa* kvalitními *echo cancellery* až o $35 dB$. Při využití tzv. *Enhanced Echo Cancelleru* dokáže opakováč Rohde & Schwarz řady XLX8000 potlačit *echo*, které je až o $15 dB$ vyšší než primární signál ze základního vysílače. Tato hodnota je velmi vysoká a v praxi je vždy důležité, jaká je úroveň vstupního signálu, zda jsou na vstupu kromě přijímaného signálu a *echa* ještě další odrazy. Není vždy možné takto vysoké *echo* potlačit. Žlutou barvou je na obr. 3.8 vyznačeno tzv. *okno echo cancelleru*. Je to oblast v časové doméně, kde *echo canceller* pracuje. Šířku okna *echo cancelleru* je možno nastavit do $5 \mu s$. Z toho vyplývá,

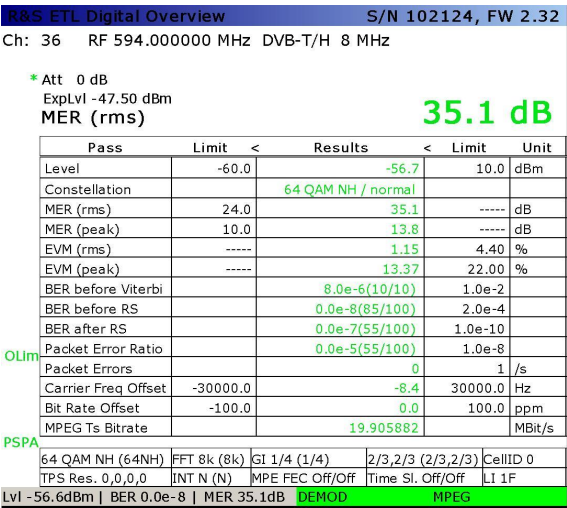
že pokud se na vstupu opakovače objeví vzdálenější odrazy, nemůže je *echo canceller* eliminovat. Jeho poloha se vždy nastavuje tak, aby vlastní *echo* bylo v jeho středu.



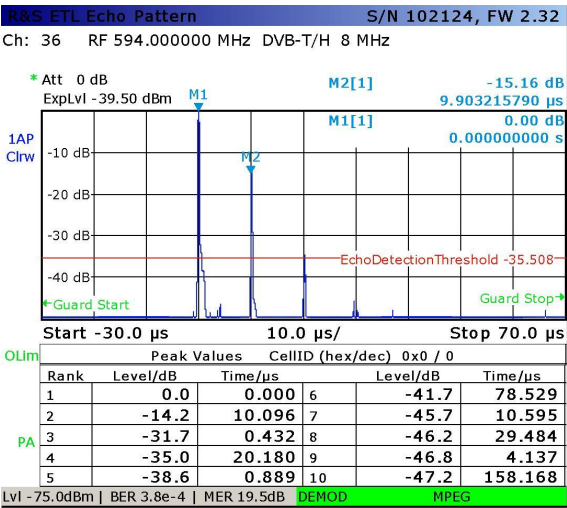
Obrázek 3.8: Echo při příjmu jediného primárního vysílače s využitím Echo Cancelleru

Při testování funkce *echo cancelleru* byl využit vstupní signál z přijímací antény nastavené pro příjem multiplexu 1 z Pradědu na 36. kanále. Jeho parametry jsou uvedeny na obr. 3.9. na obr. 3.10 je naměřený průběh na vstupu opakovače. Skutečná vstupní úroveň signálu byla -56 dBm . Znázorněná úroveň je -75 dBm , protože pro měření na vstupu opakovače byla použita směrová vazba s útlumem 20 dB . Z důvodu nízké úrovně na měřicím přístroji jsou také hodnoty BER a MER nízké. Pro měření funkce *echo cancelleru* to není důležité. Je zde vykreslen primární signál, označen markrem *M1* a vlastní *echo* opakovače, marker *M2*. Na obr. 3.11 je echo diagram na výstupu opakovače při vypnutém a na obr. 3.12 při zapnutém *echo cancelleru*. Na vstupu opakovače je naměřena hodnota *echa* -15 dB vůči signálu primárního vysílače. Při zapnutém *echo cancelleru* je hodnota *echa* -48 dB . Potlačení *echa* je tedy 33 dB . Výrobce zařízení udává hodnota potlačení *echa* byla měřením potvrzena.

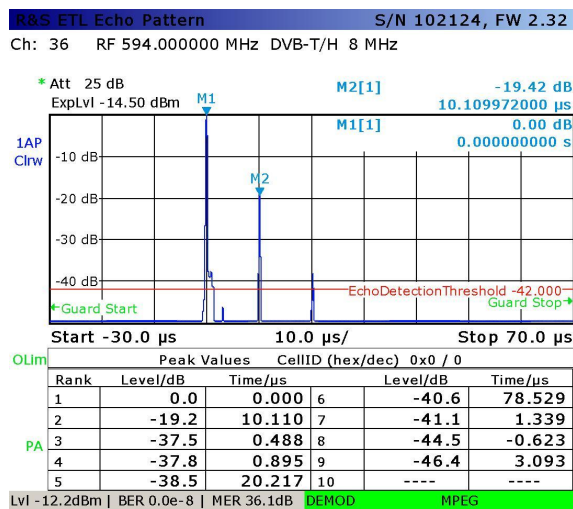
Pokud je objekt s opakovačem umístěn v takovém místě, že se na přijímací antény dostává množství blízkých odrazů, je možno je eliminovat širším oknem *echo cancelleru*. Je třeba ale počítat s tím, že čím je okno *echo cancelleru* širší, tím je hodnota MERu nižší. Pokud je hodnota MERu dostatečně vysoká, můžeme si použití širokého záběru *echo cancelleru* dovolit. Pokud je ovšem MER na výstupu na hranici, je třeba volit šířku okna spíše nižší a eliminovat především vlastní *echo*. Na obr. 3.13 je znázorněno okno *echo*



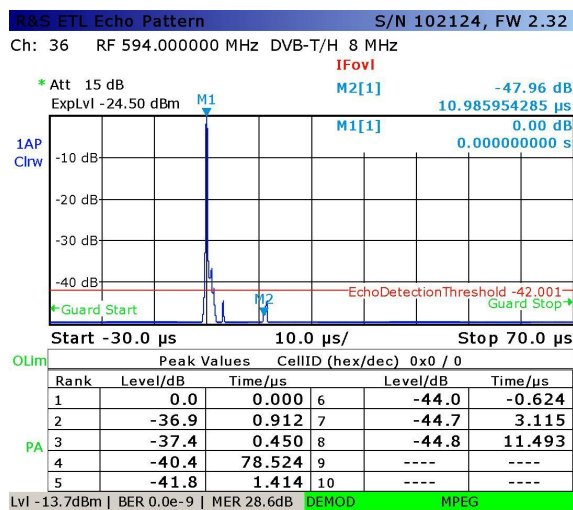
Obrázek 3.9: Parametry signálu na přijímací anténě



Obrázek 3.10: Echo diagram na vstupu opakovací

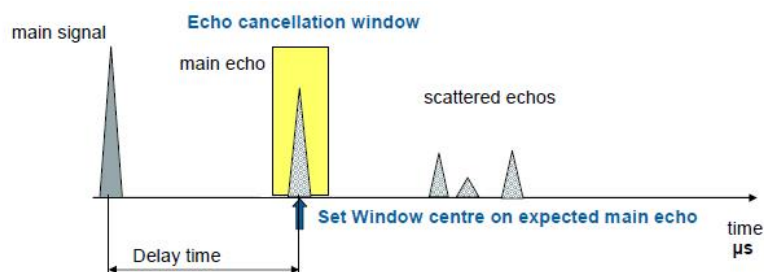


Obrázek 3.11: Echo diagram na výstupu opakovače, EC vypnut



Obrázek 3.12: Echo diagram na výstupu opakovače, EC zapnut

cancelleru. Všechny signály v jeho rozsahu jsou eliminovány. V tab. 3.2 je závislost MERu na nastavené šířce okna *echo cancelleru* při měření opakováče z předchozí části kapitoly.



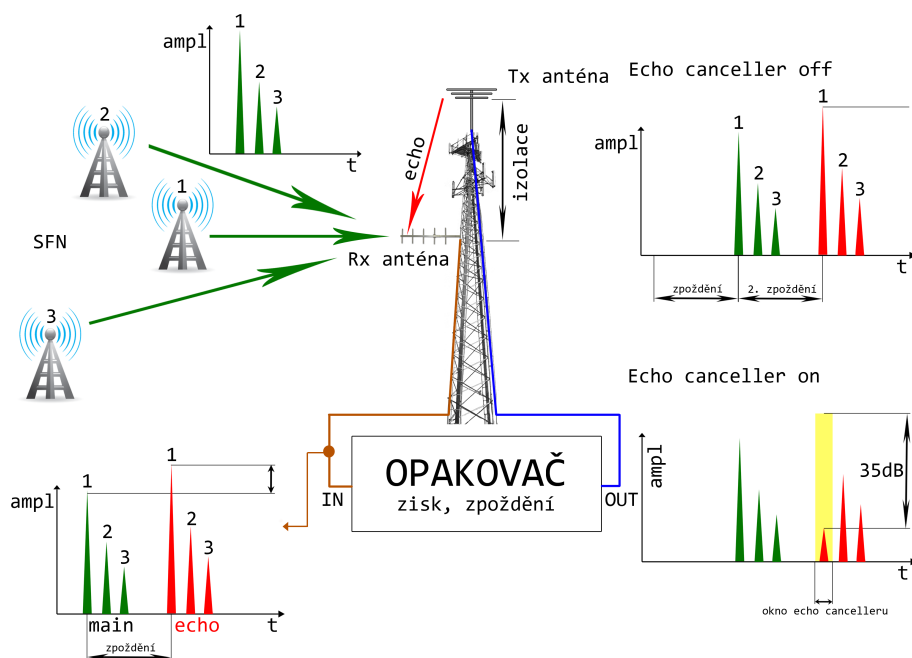
Obrázek 3.13: Okno echo cancelleru

Šířka okna [μs]	MER [dB]
1	35,0
2	34,4
3	33,9
4	33,5
5	32,7

Tabulka 3.2: Závislost MERu na šířce okna echo cancelleru

Na obr. 3.14 je vyznačena situace při příjmu primárního signálu z více vysílačů pracujících v jednofrekvenční síti. Jednotlivé vysílače jsou označeny čísly 1, 2 a 3. Jejich vzdálenost od přijímací antény opakováče je různá. Proto jejich signály dopadají na anténu v různých časech. Kromě časového posuvu je na obrázku vyznačena také jejich rozdílná úroveň. Signál z nejbližšího vysílače, na který je přijímací anténa směřována, je nejsilnější. Po průchodu opakováčem se všechny tři příchozí signály objeví na výstupu. Vzhledem k omezené šířce okna *echo cancelleru* není možné potlačit všechny. Proto se okno nastaví na nejsilnější *echo*. *Echa* ostatních dvou přijímaných signálů nedokáže *echo canceller* eliminovat. Z toho důvodu je nutné v případě vícenásobného příjmu v SFN síti nastavit přijímací anténu vždy tak, aby signál z užitečného vysílače byl výrazně silnější než signály z ostatních vysílačů.

Při návrhu vybudování opakováče je potřeba pečlivě zvážit úroveň primárního signálu a vysílaný výkon opakováče z hlediska vzniku *echa*. Dále je nutno posoudit umístění přijímacího anténního systému, především co se týká výšky. Standardní stožáry jsou 30 metrů vysoké, vysílací anténní systémy bývají umístěny na nástavci ve výšce kolem 33 metrů. Aby byla zajištěna dostatečná izolace mezi PAS a VAS, měl by být rozdíl výšek minimálně 10 až 12 metrů. To znamená umístit PAS maximálně do výšky 20 metrů, což někdy není reálné z důvodu lesního porostu v okolí stožáru. Vždy ale především záleží na úrovni primárního signálu a také na tom, zda přijímací anténa neleží v jednom z hlavních směrů vysílacího anténního systému. Stanovit přesné hodnoty úrovně primárního signálu, pro které je ještě možno uvažovat o provozu opakováče je velmi ob-



Obrázek 3.14: Situace při příjmu více vysílačů v SFN síti

tížné, prakticky spíše nemožné. Ve většině případů je nutná praktická zkouška v reálných podmínkách dané lokality. Důležitý je také nastavený výkon dokrývače.

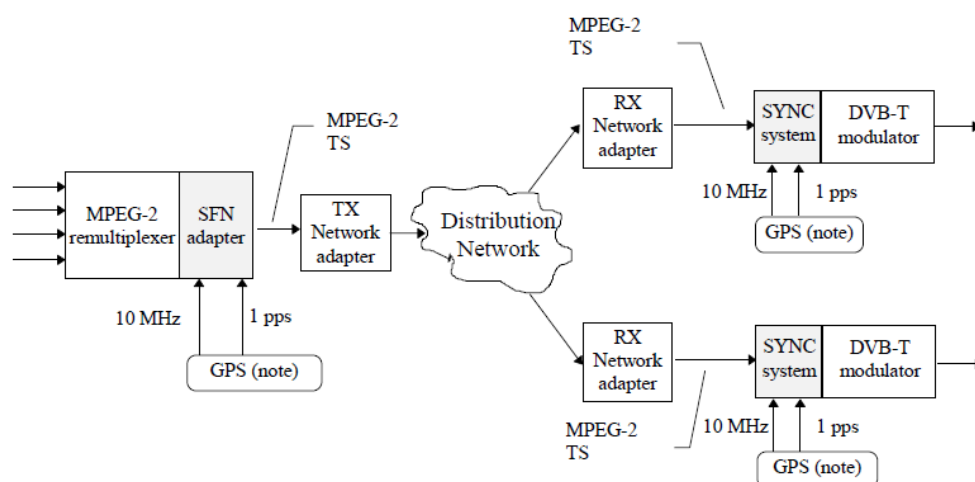
3.4 Provoz sousedních dokrývačů na shodné frekvenci

Jak už bylo uvedeno dříve v kapitole 3.1, množství kanálů vhodných pro provoz digitálních dokrývačů je poměrně nízké. Především v příhraničních oblastech může být mezinárodní zkoordinování nového kanálu velmi obtížné, nebo nemožné. v takových oblastech může být řešením provozovat dokrývače v sousedních lokalitách na shodných frekvencích. při takovém řešení je ovšem nutno dodržet všechny podmínky nutné pro provoz vysílačů v jednofrekvenční SFN síti. Základní požadavky na jednofrekvenční síť jsou v podstatě tři:

- synchronizace v čase
- synchronizace frekvence
- vysílání shodného bitového toku

Na obr. 3.15 je nakresleno schéma, které zobrazuje základní konfiguraci pro SFN síť. Vstupní MPEG-2 datový tok je před příchodem k jednotlivým vysílačům přiveden na remultiplexer, jehož součástí je SFN adaptér. SFN adaptér formuje pakety vstupního MPEG-2 transportního toku do tzv. *Mega-frame* a vkládá *Mega-frame Initialization Packet* (MIP). Ten mimo jiné obsahuje pointer, který ukazuje na začátek dalšího *Mega-frame*. SFN adaptér

je synchronizován signály 10 MHz a 1 pps z přijímače GPS (Global Position System). Stejně tak všechny vysílače v SFN síti jsou těmito signály synchronizovány. To zajišťuje, že bude vysílání každého *Mega-frame* zahájeno na všech vysílačích ve shodný okamžik. Mezi SFN adaptérem a jednotlivými vysílači se nachází distribuční síť. Na jejím vstupu je za SFN adaptérem zapojen *TX Network adapter*, který zajišťuje převod MPEG-2 transportního toku do formátu vhodného pro přenos distribuční sítí a na druhém konci je *RX Network adapter*, jehož funkce je přesně opačná. Celková doba zpoždění signálu v distribuční síti musí být nižší než 1 s . Toto uspořádání zajišťuje splnění všech tří podmínek pro provoz v SFN síti.



Obrázek 3.15: Zapojení SFN sítě [4]



Obrázek 3.16: Složení OFDM symbolu

Důležitým parametrem při provozu jednofrekvenční sítě je ochranný interval. Vkládá se na počátek každého vysílaného OFDM symbolu⁷, viz. obr. 3.16. Určuje dobu, do které musí přijít na vstup přijímače signály ze všech vysílačů v dané SFN síti. Je udáván jako poměr k době trvání užitečného OFDM symbolu. V případě nastavení parametrů

⁷OFDM symbol - okamžitý stav všech nosných v OFDM systému

jaké používají všechny u nás provozované multiplexy je doba trvání jednoho užitečného OFDM symbolu $896 \mu s$. V tab. 3.3 jsou vyznačeny jednotlivé délky ochranného intervalu a z toho vyplývající maximální vzdálenosti vysílačů v SFN síti. Vzdálenost se vypočte podle vzorce 3.1:

$$v_{max} = c \cdot t_{guard} \quad (3.1)$$

kde,

v_{max} je maximální vzdálenost vysílačů,

c je rychlost světla,

t_{guard} je doba trvání ochranného intervalu.

Užitečný symbol [μs]	Ochranný interval [–]	Ochranný interval [μs]	Maximální vzdálenost [km]
896	1/4	224	67,2
896	1/8	112	33,6
896	1/16	56	16,8
896	1/32	28	8,4

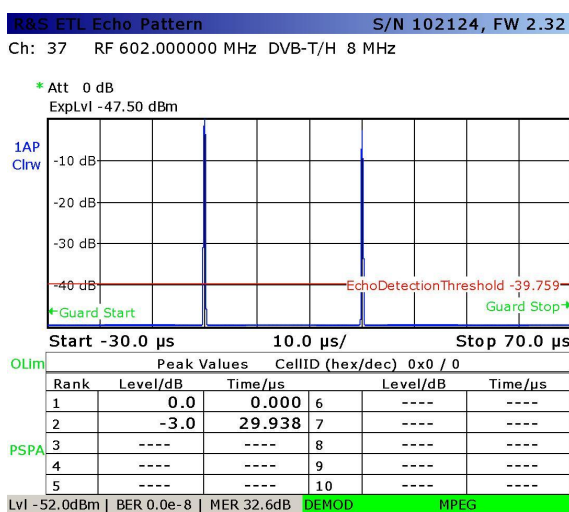
Tabulka 3.3: Ochranný interval pro 8 MHz kanál a mód 8K

Sítě vysílačů MUX1 a MUX2 používají nastavení ochranného intervalu 1/4. Z tabulky vyplývá, že maximální vzdálenost vysílačů pracujících v SFN síti u multiplexu 1 a multiplexu 2 může být 67,2 km . U multiplexu 3 je díky nastavení ochranného intervalu 1/8 maximální vzdálenost vysílačů v SFN síti nižší, pouze 33,6 km . Tyto vzdálenosti jsou velmi důležité při plánování výstavby digitálních dokrývačů, jak bude rozebráno v další části této kapitoly mé práce.

Aby mohly být provozovány dva sousední dokrývače na shodné frekvenci, je nutné splnit podmínky pro SFN síť. Je tedy nezbytně nutné, aby jako zdroj primárního signálu používaly stejný vysílač základní sítě. Tím je zajištěno, že budou vysílat naprosto stejný bitový obsah a také správné časování vysílání jednotlivých *megaframů*. Aby byla zajištěna podmínka shodné frekvence, musí být oba dokrývače vybaveny GPS přijímači pro přesné řízení frekvence. Pokud budou oba dokrývače pracovat v režimu převaděče, může být primární vysílač vzdálen více než povoluje nastavený ochranný interval v síti. Je to dáno tím, že vzhledem k nízkým vysílacím výkonům lokálních dokrývačů je zřejmé, že vzdálenost mezi nimi bude v řádu jednotek kilometrů. Vysílání jednotlivých převaděčů bude časově posunuto pouze o čas, odpovídající rozdílu vzdáleností obou převaděčů od primárního vysílače. Tato vzdálenost bude výrazně nižší, než je povolených 67,2 km v sítích multiplexů 1 a 2. Pokud by pracovaly oba dokrývače v režimu opakováče, byla by situace poněkud odlišná. Záleželo by na tom, zda by na části dokrývaného území dopadal signál primárního vysílače. V takovém případě by vzdálenost primárního vysílače od jednotlivých opakováčů musela být nižší než je maximální vzdálenost povolená u daného ochranného intervalu snížena o vzdálenost odpovídající zpoždění signálu při zpracování opakováčem. při standardní době průchodu signálu opakováčem 10 μs , což odpovídá

přibližně 3 km, by primární vysílač neměl být vzdálen více než přibližně 64 km. Pokud by signál z primárního vysílače nezasahoval na dokrývané území, nebyla by jeho vzdálenost od opakovaců omezena.

Za účelem získání informací o chování dvou převaděčů provozovaných na shodné frekvenci byla provedena simulace. Požadovaným výsledkem bylo získání parametrů přijímaného signálu přicházejícího na vstup měřicího přístroje zároveň ze dvou dokrývačů. Postupně byly změřeny oba převaděče samostatně a poté společně. Byly simulovány časové posuvy 0, 10, 20 a 30 μs . Na vstup jednotlivých převaděčů byly přivedeny signály dvou budičů DVB-T synchronizovaných v SFN síti. Časové posuvy byly simulovány nastavením statického zpoždění na jednom z budičů, viz. obr. 3.17.



Obrázek 3.17: Časový posuv a rozdíl úrovní dvou signálů

Pro každý časový posuv byly simulovány rozdíly úrovní z obou dokrývačů 0, 3, 6 a 10 dB. Pro hodnotu časového posuvu 30 μs byly navíc změřeny parametry při rozdílu úrovní 1 a 2 dB, aby bylo ukázáno, jak se kvalita přijímaného signálu postupně zlepšuje se zvyšujícím se rozdílem v úrovni jednotlivých signálů. Na obr. 3.18 jsou parametry prvního a na obr. 3.19 druhého opakovacího.

V tab. 3.4 jsou naměřené hodnoty střední a špičkové hodnoty MERu. Všechny naměřené hodnoty, spektra, konstelační diagramy a echo diagramy jsou uvedeny v příloze B. Z naměřených hodnot vyplývá, že časový posuv není pro kvalitu přijímaného signálu ze dvou dokrývačů důležitý. Pro kvalitní příjem je mnohem důležitější rozdíl v úrovních obou signálů. Pokud je úroveň signálů shodná, je naměřena střední hodnota MERu kolem 27 dB. Mohlo by se zdát, že je to hodnota dostatečná pro kvalitní příjem. Na obr. 3.20 je znázorněn průběh MERu přes všechny nosné. Je vidět značné rozkolísání. Na obr. 3.21 je zobrazen detail průběhu MERu na středních 400 nosných. Tady je zřetelně zobrazeno, že na velké části nosných je MER hluboko pod přípustnou mezí. Na obr. 3.22 je zobrazen konstelační diagram. Je složen z padesáti OFDM symbolů. V konstelačním diagramu je vykresleno mnoho stavů, které jsou zcela mimo vyhrazené území. Takový

R&S ETL Digital Overview

S/N 102124, FW 2.32

Ch: 37 RF 602.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz

* Att 0 dB

ExpLvl -47.50 dBm

MER (rms)

34.5 dB

Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-48.5		10.0	dBm
Constellation			64 QAM NH / normal			
MER (rms)	24.0		34.5		-----	dB
MER (peak)	10.0		20.5		-----	dB
EVM (rms)	-----		1.24		4.40	%
EVM (peak)	-----		6.19		22.00	%
BER before Viterbi			0.0e-9(340/1K00)		1.0e-2	
BER before RS			0.0e-9(207/1K00)		2.0e-4	
BER after RS			0.0e-8(136/1K00)		1.0e-10	
Packet Error Ratio			0.0e-6(136/1K00)		1.0e-8	
Packet Errors			0		1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-8.2		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882			MBit/s

OLim

PSPA

64 QAM NH (64NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/4 (1/4)	2/3,2/3 (2/3,2/3)	CellID 0
TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	LI 1F

Lvl -48.5dBm | BER 0.0e-9 | MER 34.5dB DEMOD MPEG

Obrázek 3.18: Parametry prvního dokrývače

R&S ETL Digital Overview

S/N 102124, FW 2.32

Ch: 37 RF 602.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz

* Att 0 dB

ExpLvl -47.50 dBm

MER (rms)

34.4 dB

Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-48.4		10.0	dBm
Constellation			64 QAM NH / normal			
MER (rms)	24.0		34.4		-----	dB
MER (peak)	10.0		22.6		-----	dB
EVM (rms)	-----		1.24		4.40	%
EVM (peak)	-----		4.87		22.00	%
BER before Viterbi			0.0e-8(40/100)		1.0e-2	
BER before RS			0.0e-8(23/100)		2.0e-4	
BER after RS			0.0e-7(14/100)		1.0e-10	
Packet Error Ratio			0.0e-5(14/100)		1.0e-8	
Packet Errors			0		1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-8.2		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882			MBit/s

OLim

PSPA

64 QAM NH (64NH) FFT 8k (8k) GI 1/4 (1/4) 2/3,2/3 (2/3,2/3) CellID 0

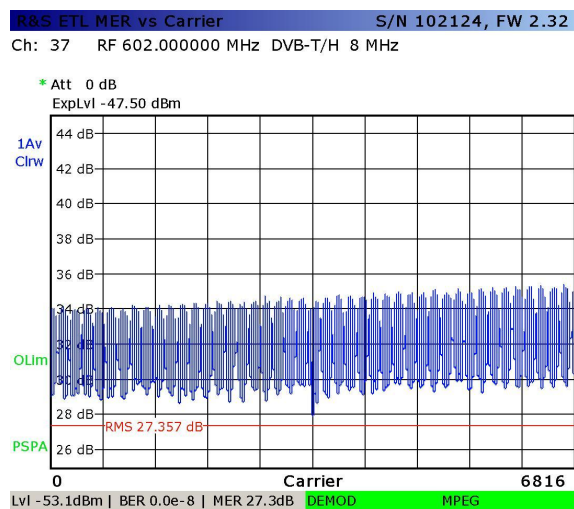
TPS Res. 0,0,0,0 INT N (N) MPE FEC Off/Off Time Sl. Off/Off LI 1F

Lvl -48.4dBm | BER 0.0e-8 | MER 34.4dB DEMOD MPEG

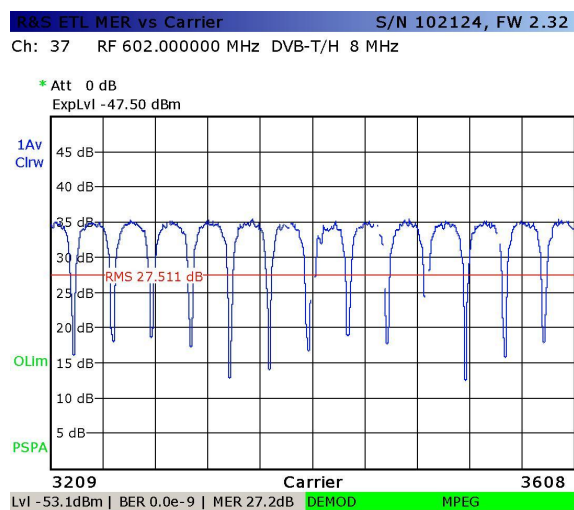
Obrázek 3.19: Parametry druhého dokrývače

signál je pro přijímač nepoužitelný. V tab. 3.4 tomuto časovému posuvu a rozdílu úrovní odpovídá hodnota špičkového MERu 3, 7 dB. Ale už při rozdílu úrovní obou signálů 1 dB stoupne hodnota špičkového MERu na 10, 5 dB a konstelační diagram je již v pořádku, viz. obr. 3.23. Při rozdílu úrovní 3 dB je kvalita signálu srovnatelná jako při příjmu signálu z jediného vysílače. Při rozdílu 6 nebo 10 dB jsou již parametry signálu praktický shodné s parametry při příjmu jediného vysílače.

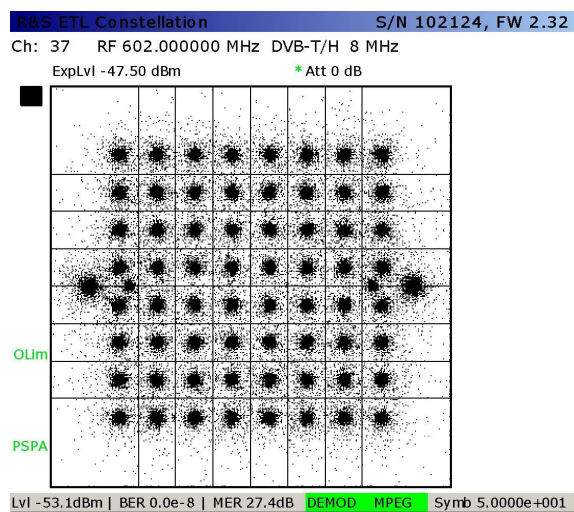
Z uvedených teoretických rozborů a simulací je možno vyvodit závěr, že za dodržení výše uvedených podmínek lze provozovat dva dokrývače v sousedních lokalitách na shodných vysílacích kanálech. Pro příjem bezchybného signálu stačí zajistit na příji-



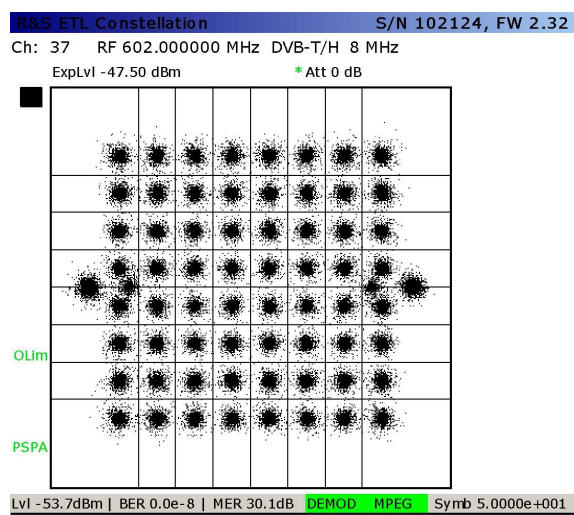
Obrázek 3.20: Průběh MERu při shodné úrovni dvou signálů s časovým posuvem $30 \mu s$



Obrázek 3.21: Detail MERu při shodné úrovni dvou signálů s časovým posuvem $30 \mu s$



Obrázek 3.22: Konstelační diagram při shodné úrovni dvou signálů s časovým posuvem $30 \mu s$



Obrázek 3.23: Konstelační diagram při 1 dB rozdílu úrovní dvou signálů s časovým posuvem $30 \mu s$

Časový posuv [μs]	Rozdíl úrovní [dB]	MER_{RMS} [dB]	MER_{peak} [dB]
0	0	33,4	19,4
0	3	32,6	16,5
0	6	32,6	19,2
0	10	34,2	22,1
10	0	27,4	3,7
10	3	32,0	15,6
10	6	33,0	18,6
10	10	33,3	21,0
20	0	27,2	3,7
20	3	32,0	16,1
20	6	33,0	18,7
20	10	33,4	19,4
30	0	27,5	3,7
30	1	30,1	10,5
30	2	31,1	13,5
30	3	32,6	16,5
30	6	33,9	20,2
30	10	34,2	21,0

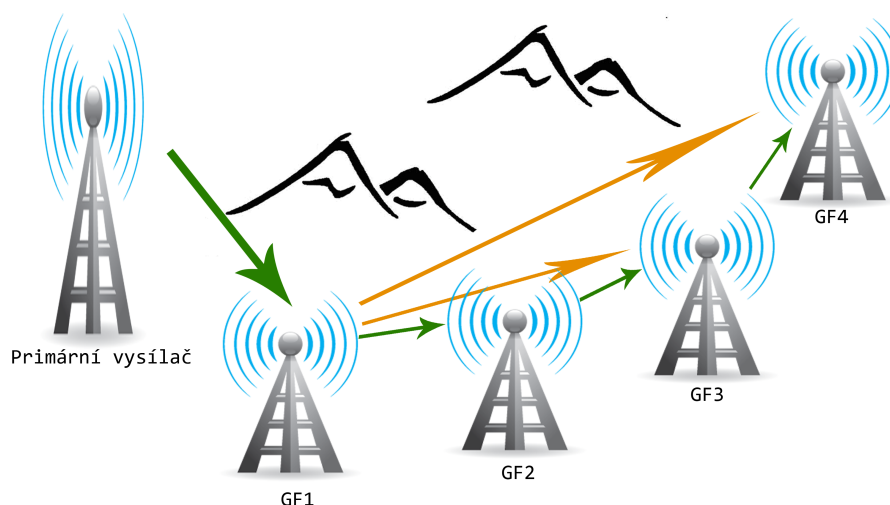
Tabulka 3.4: Hodnoty MERu pro různé časové posuvy a úrovně signálů

mací anténě rozdíl úrovní signálu přicházejících z obou dokrývačů minimálně 3 dB. To v praxi není problém, většina diváků má přijímací anténu směřovanou na jeden z vysílačů.

3.5 Vícenásobný převod

Území Moravskoslezského kraje je z geomorfologického hlediska velmi členité. Nachází se na něm několik horských útvarů, Beskydy, Jeseníky a další menší pohoří nebo pahorkatiny. Takové území je z pohledu pokrytí televizním signálem velmi problematické. Existuje zde řada dlouhých horských údolí s menšími městy či vesnicemi, kde není signál primárních vysílačů k dispozici. Najdou se zde i taková údolí, kde je signál z vysílače základní sítě k dispozici pouze na okraji údolí. Jedinou možností, jak dokrýt toto území signálem pozemního televizního vysílání v systému DVB-T je využití vícenásobného převodu. Už v době analogového televizního vysílání se tato varianta vyskytovala například v údolích v okolí Vsetína. Jedno takové údolí bude také předmětem návrhu dokrytí v kapitole 4. Na obr. 3.24 je vykreslena situace v takovém údolí.

Signál z vysílače základní sítě přichází na vstup dokrývače GF 1 na okraji údolí. Tento dokrývač může pracovat v režimu převaděče nebo opakovače. V podstatě to není důležité, pokud na dalším dokrývači není na přijímací anténě signál z hlavního vysílače. Druhý dokrývač v pořadí, GF 2, využívá jako primární signál vysílání z dokrývače GF 1. Takto se situace opakuje až na konec horského údolí, vyznačeno zelenými šipkami. Jednotlivé

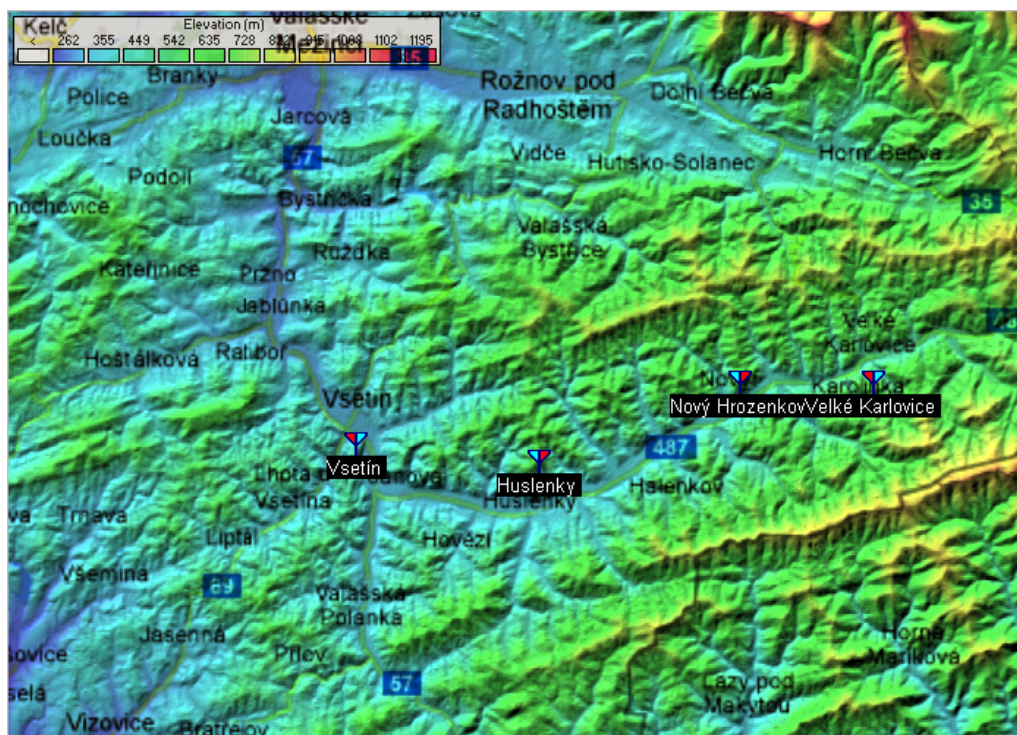


Obrázek 3.24: Řešení dokrytí území vícenásobným převodem

dokrývače nemusí být na sebe takto řetězově navázány. Pokud je např. signál z dokrývače GF 1 k dispozici také na GF 3 nebo GF 4, je výhodnější použít jako primární signál právě dokrývač GF 1, jak ukazují šipky oranžové. Hlavním problémem vícenásobného převodu je totiž zřetězení závad. Pokud dojde k závadě na některém z dokrývačů, budou mimo provoz také všechny na něj navázané. Vzhledem k tomu, že je zde popisována problematika v horských oblastech, je nutno mít na paměti značné problémy s dostupností daných lokalit v zimním období. Většina takových míst je několik měsíců pokryta sněhem a je v podstatě nedostupná. Dochází zde poměrně často k výpadkům energetického napájení v důsledku přerušeného nadzemního vedení elektrické energie z důvodu padlých stromů nebo silné námrazy na drátech. Odstranění těchto závad může trvat i více dní. Objekty s dokrývači nemají žádnou možnost náhradních zdrojů elektrického napájení. V případě přerušení napájení objektu s dokrývačem GF 1 by tak zůstaly na stejně dlouhou dobu mimo provoz také všechny ostatní dokrývače v popisovaném území. To je hlavní důvod, proč by se k takovému řešení dokrytí mělo přistupovat velmi obezřetně a až po vyčerpání všech ostatních možností. Jsou však území, kde je tato varianta jediná možná. Z hlediska kvality vysílání tato varianta není problém. Parametry dokrývačem vysílaného signálu jsou srovnatelné s primárním signálem, takže by nemělo dojít k nikterak významnému poklesu kvality signálu na vzdálenějších dokrývačích při vícenásobném převodu. Tato hypotéza je však těžko ověřitelná v laboratorních podmínkách, neboť lze jen stěží nasimulovat reálné podmínky členitého horského terénu. Navíc není k dispozici více dokrývačů, které by bylo možno k simulaci využít.

4 Návrh řešení pokrytí problematického území

Po dokončení výstavby primární sítě vysílačů DVB-T se ukázalo, která území nejsou signálem pokryta. Byly mezi nimi i oblasti zahrnující města s poměrně velkým počtem obyvatel, např. Jeseník, Zlaté Hory v oblasti vysílače Praděd. Jejich dokrytí není ovšem nijak složité, lze zde provozovat opakovače na stejných objektech jako dříve analogové převaděče. Z hlediska dokrytí území, kde se daly očekávat značné problémy při návrhu a také provozu dokrývačů je mnohem zajímavější oblast města Vsetín a přilehlé horské údolí položené ve spodní části mezi vesnicí Ústí a shora ukončené městysem Velké Karlovice. Návrh řešení dokrytí tohoto území byl prováděn na základě výsledků a zjištění získaných při simulacích a měřeních provedených v rámci práce na kapitole 3. Na obr. 4.1 je mapa území, které má být pokryto. Na mapce je patrné, že celé údolí je ze severní a jižní strany ukryto mezi souvislými horskými masívy. Na východní straně je Slovenská republika. Ze západní strany je údolí také chráněno poměrně vysokou pahorkatinou. Simulace pokrytí tohoto území je zobrazeno na obr. 4.2. Do simulace byly zahrnuty vysílače Tlustá hora, Kojál, Praděd a Zlín. Minimální úroveň signálu pro zobrazení byla nastavena na -63 dBm . V příloze C jsou uvedeny simulace pokrytí Severomoravského kraje pro výkonovou úroveň elektromagnetického pole -50 dBm a -63 dBm .



Obrázek 4.1: Mapa území určeného k vytvoření návrhu pokrytí



Obrázek 4.2: Simulace pokrytí pro výkonovou úroveň elmag. pole -63 dBm

4.1 Teoretický návrh na základě simulací

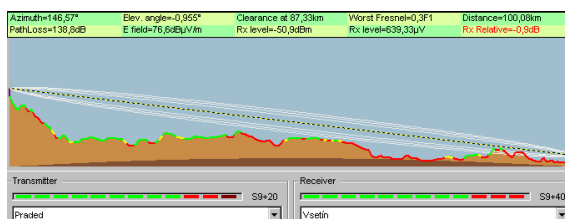
Pro pokrytí tohoto území signálem digitální televize se nabízí objekty, na kterých byly dříve umístěny analogové vysílače. Jedná se o lokality Vsetín - Bečvář, Hovězí, Huslenky, Halenkov, Nový Hrozenkov a Velké Karlovice. Ze zkušeností s příjmem signálu DVB-T ve srovnání s příjmem analogové televize po vybudování sítě základních vysílačů je možno říci, že úroveň signálu dostatečná pro kvalitní příjem u DVB-T může být výrazně nižší. Při návrhu pokrytí je tedy možno některé lokality vynechat. Nabízí se využití objektů Bečvář, Huslenky, Nový Hrozenkov a Velké Karlovice. Části údolí pokryté v době analogové televize z vysílače Hovězí pokryje signálem vysílač Huslenky a částečně také Vsetín - Bečvář. Obec Halenkov pokryje vysílač Huslenky ze západního směru a vysílač Nový Hrozenkov ze směru východního. Tento vysílač společně s vysílačem ve Velkých Karlovicích zároveň pokryje také území obce Karolinka. Ve srovnání s analogovou érou by tedy nebyly realizovány vysílače Hovězí a Halenkov.

V první fázi návrhu byly vytvořeny simulace terénního profilu mezi primárním vysílačem a navrhovaným opakovačem v každé z uvažovaných lokalit. Jako zdroj primárního signálu byly vytipovány vysílače základní sítě Zlín - Tlustá hora, Kojál, Praděd a Lysá hora. Jiné vysílače pro tuto oblast nepřicházely v úvahu. Simulace byly vytvořeny vždy pro každý z vytipovaných primárních vysílačů na každé lokalitě a jsou uvedeny v příloze C. Dalším krokem návrhu bylo ověření možností příjmu přímo na daných lokalitách.

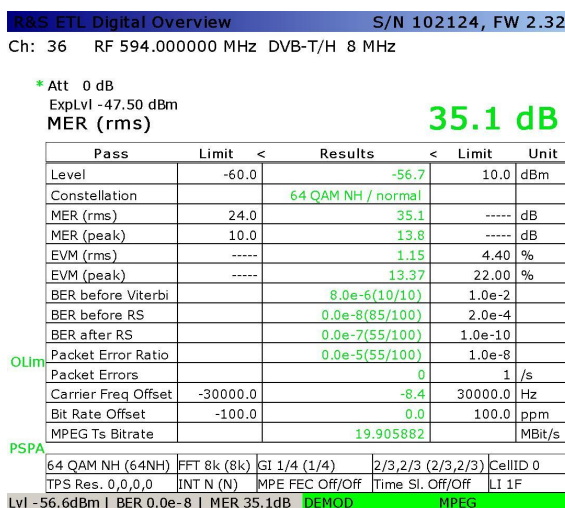
4.1.1 Vsetín

Na obr. 4.3 je vykreslen terénní profil mezi Pradědem a Vsetínem - Bečvář. Zeleně vyznačené části jsou pokryty signálem s intenzitou dostatečnou pro bezchybný příjem digitální televize, červené oblasti signálem pokryty nejsou. Praděd je jediným základním vysílačem, na který je z této lokality přímá viditelnost. V příloze C jsou uvedeny

simulace terénních profilu pro ostatní vysílače zahrnuté do návrhu. Teoretická úroveň přijímaného signálu z vysílače Praděd je dle simulace -51 dBm . Parametry signálu MUX1 z Pradědu měřené na lokalitě Vsetín - Bečevná jsou uvedeny na obr. 4.4. Úroveň primárního signálu byla měřena -56 dBm a MER na vynikající úrovni 35 dB . Vzhledem k parametrům vstupního signálu byla pro pokrytí města Vsetín navržena varianta opakovacího signálu MUX1 z Pradědu na 36. televizním kanále.



Obrázek 4.3: Terénní profil Praděd - Vsetín

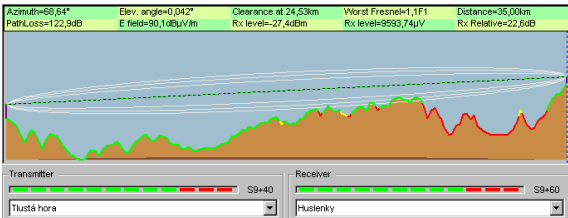


Obrázek 4.4: Primární signál z vysílače Praděd, 36.kanál

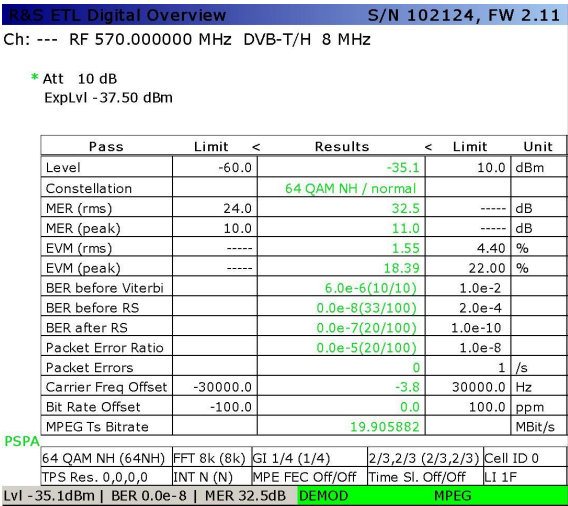
4.1.2 Huslenky

Na lokalitě Huslenky přicházejí v úvahu dva základní vysílače, Tlustá hora s teoretickou úrovní přijímaného signálu -28 dBm a Kojál s -34 dBm . Na obr. 4.5 je znázorněn terénní profil pro Tlustou horu a na obr. 4.7 pro Kojál. Parametry měřeného přijímaného signálu MUX1 z Tlusté hory v Huslenkách jsou uvedeny na obr. 4.6, parametry signálu z Kojálu jsou vyobrazeny na obr. 4.8. Oba signály mají parametry na vysoké úrovni, nicméně televizní signál přijímaný z Tlusté hory je ve výkonové úrovni -35 dBm , tedy o 7 dB vyšší než u přijímaného televizního signálu z vysílače Kojál. Navržena varianta tedy byla opakovacího signálu MUX1 z Tlusté hory na 33. televizním kanále. Stejně tak by se mohl

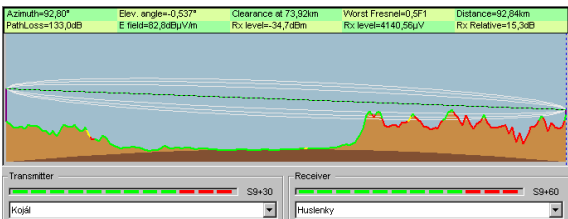
vybudovat opakovač signálu z Kojálu na 29. telvizním kanále. Vysílač Tlustá hora je však mnohem blíže a primární signál z něj nebude ovlivňován změnami počasí tak výrazně jako signál z Kojálu.



Obrázek 4.5: Terénní profil Huslenky-Tlustá hora



Obrázek 4.6: Parametry vstupního signálu opakovače Huslenky MUX1 z Tlusté hory, 33.kanal



Obrázek 4.7: Terénní profil Huslenky-Kojál

S&S ETL Digital Overview

S/N 102124, FW 2.11

Ch: --- RF 538.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz

* Att 0 dB

ExpLvl -39.50 dBm

MER (rms)

34.3 dB

Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-42.5		10.0	dBm
Constellation			64 QAM NH / normal			
MER (rms)	24.0		34.3		-----	dB
MER (peak)	10.0		16.6		-----	dB
EVM (rms)	-----		1.26		4.40	%
EVM (peak)	-----		9.69		22.00	%
BER before Viterbi			0.9e-8(75/100)		1.0e-2	
BER before RS			0.0e-8(44/100)		2.0e-4	
BER after RS			0.0e-7(28/100)		1.0e-10	
Packet Error Ratio			0.0e-5(28/100)		1.0e-8	
Packet Errors			0		1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-6.3		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882			MBit/s

PA

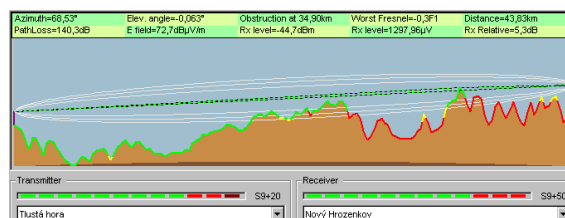
64 QAM NH (64NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/4 (1/4)	2/3, 2/3 (2/3, 2/3)	Cell ID 0
TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	L1 1F

Lvl -42.5dBm | BER 0.0e-8 | MER 34.3dB DEMOD MPEG

Obrázek 4.8: Parametry vstupního signálu opakováče Huslenky MUX1 z Kojálu, 29.kanál

4.1.3 Nový Hrozenkov

Ze stožáru v Novém Hrozenkově je přímá viditelnost pouze na základní vysílač Tlustá hora. Terénní profily pro všechny uvažované primární vysílače jsou uvedeny v příloze C. Z obr. 4.9 lze odečíst hodnotu výkonové úrovně přijímaného signálu $-44,7 \text{ dBm}$. Parametry měřeného primárního signálu v době výběru jsou uvedeny na obr. 4.10. Výkonová úroveň signálu $-46,7 \text{ dBm}$ a hodnota MERu 33 dB se jevila dostatečná k provozu dokrývače v režimu opakováče signálu z Tlusté hory na 33. televizním kanále. Proto byla pro dokrytí této obce digitálním televizním signálem navržena právě tato varianta.



Obrázek 4.9: Terénní profil Nový Hrozenkov - Tlustá hora

4.1.4 Velké Karlovice

Poslední lokalita Velké Karlovice se ukázala být z hlediska přímé viditelnosti problematická. Přímá viditelnost na některý z vysílačů základní sítě zde není, jak ukazují simulace uvedeny v příloze C. Jako nejpříjemnější se jevil vysílač Lysá hora s teoretickou úrovní signálu -53 dBm , terénní profil pro tento vysílač ukazuje obr. 4.11. Přehled parametrů měřeného signálu z Lysé hory ve Velkých Karlovicích je na obr. 4.12. Měřená výkonová

R&S ETL Digital Overview

S/N 102124, FW 2.11

Ch: --- RF 570.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz

* Att 0 dB
ExpLvl -47.50 dBm

Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-46.7		10.0	dBm
Constellation			64 QAM NH / normal			
MER (rms)	24.0		33.0		-----	dB
MER (peak)	10.0		10.9		-----	dB
EVM (rms)	-----		1.46		4.40	%
EVM (peak)	-----		18.62		22.00	%
BER before Viterbi			5.5e-6(10/10)		1.0e-2	
BER before RS			0.0e-9(340/1K00)		2.0e-4	
BER after RS			0.0e-8(224/1K00)		1.0e-10	
Packet Error Ratio			0.0e-6(224/1K00)		1.0e-8	
Packet Errors			0		1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-6.9		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882			MBit/s

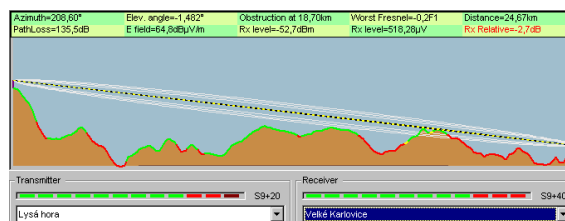
PSPA

64 QAM NH (64NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/4 (1/4)	2/3, 2/3 (2/3, 2/3)	Cell ID 0
TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	L1 1F

Lvl -46.7dBm | BER 0.0e-9 | MER 33.0dB DEMOD MPEG

Obrázek 4.10: Parametry vstupního signálu opakovací Nový Hrozenkov MUX1 z Tlusté hory, 33.kanál

úroveň signálu byla $-52,7 \text{ dBm}$ a MER $33,9 \text{ dB}$. Vzhledem k tomu, že se jedná o příhraniční obec, daly se očekávat problémy s koordinací kmitočtu pro případný převaděč. Proto byla i při poměrně nízké vstupní úrovni navržena varianta opakovací signálu MUX1 z Lysé hory na 54. televizním kanálu. Bylo přihlédnuto také k tomu, že v době analogové televize byly na této lokalitě provozovány vysílače s nižším efektivním výkonem než na ostatních vysílačích v tomto území. Dalo se předpokládat, že také u vysílačů digitální televize nebude ERP vyšší než 10 W . Tato skutečnost částečně eliminuje problémy s *echem* a nižší vstupní úroveň primárního signálu by nemusela být problémem.



Obrázek 4.11: Terénní profil Velké Karlovice - Lysá hora

4.1.5 Simulace výsledného návrhu

Simulace na obr. 4.13 zobrazuje výsledné teoretické pokrytí celé oblasti signálem ze čtyř uvažovaných lokalit. Minimální úroveň signálu byla nastavena na -63 dBm . Tato hodnota je určena vyhláškou 163/2008 o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání. Efektivní vyzážené výkony jednotlivých navrhovaných dokrývačů a parametry

R&S ETL Digital Overview

S/N 102124, FW 2.11

Ch: --- RF 738.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz

* Att 0 dB

ExpLvl -39.50 dBm

MER (rms)

33.9 dB

Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-52.7		10.0	dBm
Constellation			64 QAM NH / normal			
MER (rms)	24.0		33.9		-----	dB
MER (peak)	10.0		16.1		-----	dB
EVM (rms)	-----		1.32		4.40	%
EVM (peak)	-----		10.30		22.00	%
BER before Viterbi			1.5e-7(8/10)		1.0e-2	
BER before RS			0.0e-7(3/10)		2.0e-4	
BER after RS			0.0e-6(1/10)		1.0e-10	
Packet Error Ratio			0.0e-4(1/10)		1.0e-8	
Packet Errors			0		1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-9.1		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882			MBit/s

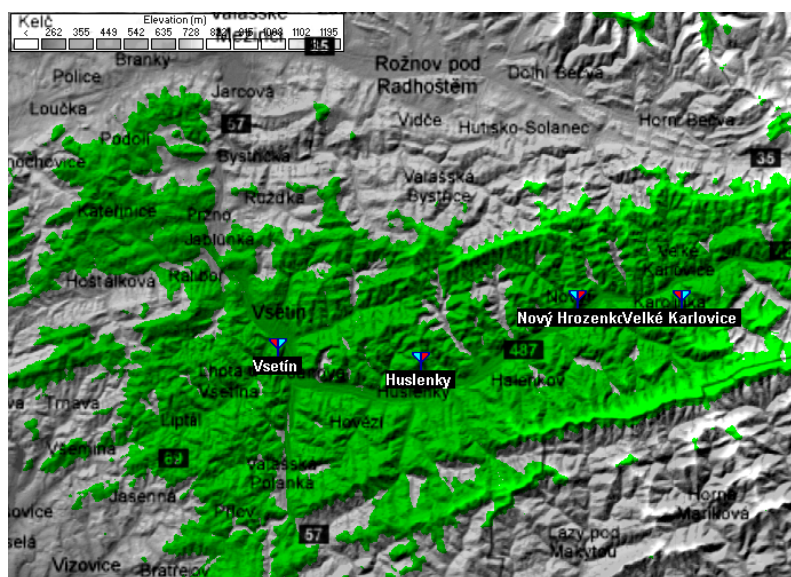
PA

64 QAM NH (64NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/4 (1/4)	2/3, 2/3 (2/3, 2/3)	Cell ID 0
TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	LI 1F

Lvl -52.7dBm | BER 0.0e-7 | MER 33.9dB | DEMOD MPEG

Obrázek 4.12: Parametry vstupního signálu z Lysé hory, 54. kanál

anténních systémů byly nastaveny v souladu s hodnotami, které zde byly v době analogového televizního vysílání. Dle této simulace se ukazuje navrhované řešení dokrytí území Vsetína a přilehlého údolí směřujícího do Velkých Karlovic jako dostatečné. V kapitole 4.2 bude popsána praktická realizace, která vycházela z tohoto návrhu.



Obrázek 4.13: Teoretické pokrytí pro výkonovou úroveň elmag. pole -63 dBm

4.2 Praktická realizace

4.2.1 Vsetín

Jako první z navrhovaných dokrývačů byl uveden do provozu opakováč pro město Vsetín na 36. televizním kanálu z objektu Českých Radiokomunikací v lokalitě Vsetín - Bečevná. ČTÚ byl povolen maximální vyzářený výkon ERP 25 W. Přijímací antény byly instalovány ve výšce 18 metrů, těsně nad úrovní okolních stromů. V době testování před a při spuštění se opakováč choval korektně. Krátce po spuštění ale vlivem změny povětrnostních podmínek došlo k výraznému poklesu vstupní úrovně až na -62 dBm a tím pádem k nárůstu vlastního *echa* vysílače, které už *echo canceller* nedokázal eliminovat. Opakovaně docházelo k redukci výkonu na výstupu vysílače i přes několikeré přenastavení parametrů *echo cancelleru*. Bylo tedy zřejmé, že především v zimním období není možno ve Vsetíně provozovat opakováč signálu z více než 100 km vzdáleného primárního vysílače Praděd MUX1. Ve spolupráci s ČTÚ byl pro vysílání programů MUX1 ve Vsetíně zvolen vysílací televizní kanál 54 a režim převaděče z televizního kanálu 36 na televizní kanál 54. Je to logická volba, protože tento kanál se na území Moravskoslezského kraje pro šíření MUX1 využívá především, není tedy problém dosáhnout koordinace pro území Vsetína. Město Vsetín je ze všech stran obklopeno horskými masívy a signál z vysílače Bečevná se prakticky mimo území města nešíří. V případě provozu vysílače v režimu převaděče samozřejmě odpadají problémy s vlastním *echem* zařízení. V takovém případě je také vstupní úroveň signálu, která se pohybuje při různých povětrnostních podmínkách mezi -53 až -62 dBm s parametrem MER na úrovni -33 dB naprosto dostatečná. Parametry vysílače měřeny ve městě po přechodu na režim převaděče jsou uvedeny na obr. 4.14.

RBS ETL Digital Overview

S/N 102124, FW 2.11

Ch: --- RF 738.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz

* Att 0 dB

ExpLvl -47.50 dBm

MER (rms)

33.8 dB

Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-48.7		10.0	dBm
Constellation			64 QAM NH / normal			
MER (rms)	24.0		33.8		-----	dB
MER (peak)	10.0		13.2		-----	dB
EVM (rms)	-----		1.33		4.40	%
EVM (peak)	-----		14.27		22.00	%
BER before Viterbi			1.2e-6(10/10)		1.0e-2	
BER before RS			0.0e-9(730/1K00)		2.0e-4	
BER after RS			0.0e-8(484/1K00)		1.0e-10	
Packet Error Ratio			0.0e-6(484/1K00)		1.0e-8	
Packet Errors			0		1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-4.1		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882			MBit/s

PSPA

64 QAM NH (64NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/4 (1/4)	2/3,2/3 (2/3,2/3)	Cell ID 0
TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	LI 1F

Lvl -48.7dBm | BER 0.0e-9 | MER 33.8dB | DEMOD | MPEG

Obrázek 4.14: Parametry signálu z převaděče Vsetín MUX1 54.kanál

Po přechodu z režimu opakováč na režim převaděč je provoz vysílače Vsetín MUX1 zcela bez problému za každého počasí. Řešení pokrytí Vsetína signálem MUX2 vycházelo

ze zkušeností získaných při návrhu, realizaci a následného provozu vysílače multiplexu 1. Ve spolupráci s ČTÚ byl vybrán vhodný vysílací kanál, a to kanál 58. Jako zdroj vstupního signálu pro převaděč byl použit signál vysílače Praděd na kanále 53. Žádný jiný v této lokalitě stejně není k dispozici. Jeho parametry jsou srovnatelné s parametry signálu MUX1. Oba vysílače na Pradědu vysílají se stejným výkonem do společného anténního systému. Tato lokalita je zajímavá z hlediska využití velmi vzdáleného primárního vysílače a chování dokrývače při hraniční úrovni vstupního signálu pro možnost provozu v režimu opakovací.

4.2.2 Údolí Ústí - Velké Karlovice

Toto údolí bylo už v době analogové televize velmi problematické z hlediska pokrytí. Na mnoha stanovištích nebyl k dispozici primární signál pro analogové převaděče z velkých analogových vysílačů. Klíčovým stanovištěm proto byl objekt Huslenky, kde byl k dispozici signál jednak z vysílače Tlustá hora - Zlín a také z vysílače Kojál - Brno. Převaděče na dalších objektech, Halenkov, Nový Hrozenkov a Hovězí využívaly jako primární signál právě vysílání z objektu Huslenky. Není tedy náhodou, že jako první se v této oblasti realizovala výstavba digitálního opakováče Huslenky MUX1. Ve stejném termínu se uváděl do provozu také opakováč MUX1 Nový Hrozenkov.

4.2.2.1 Huslenky a Nový Hrozenkov V souladu s návrhem pokrytí obcí Huslenky a Nový Hrozenkov signálem MUX1 byla na obou kótách realizována výstavba digitálního opakováče signálu z vysílače Tlustá hora - Zlín na 33. televizním kanále s ERP 25 W. Vstupní úroveň i ostatní parametry primárního signálu pro opakováč Huslenky byly vynikající, úroveň -35 dBm , MER na úrovni 32,5 dB. Stejně tak parametry na stanovišti Nový Hrozenkov se jeví jako dostatečné pro provoz opakováče, vstupní úroveň -46 dBm a MER 33 dB. V podstatě by tedy nemělo nic bránit zahájení bezproblémového vysílání na obou objektech. Opak byl však pravdou. Měření a výběr vstupního signálu probíhalo v době, kdy v této lokalitě nebyl v provozu žádný jiný vysílač na 33. televizním kanále než Tlustá Hora a společně s ním v SFN síti vysílač Valašské Klobouky - Ploštiny. Tento vysílač však díky své poloze za horským masívem není důležitý pro situaci, která nastala po spuštění obou opakováčů. Opakováč v Huslenkách byl uveden do provozu jako první a vysílal zcela bez problémů, parametry jsou uvedeny na obr. 4.15. Poté byl uveden do provozu také opakováč v Novém Hrozenkově a oproti očekávání byly parametry výrazně horší než při zkoušce před ostrým startem, jak ukazuje obr. 4.16.

Po provedeném rozboru bylo zjištěno, že tento nesoulad je způsoben tím, že v době testování jednotlivých dokrývačů nikdy nebyl v provozu druhý z nich. Takže na vstup opakováče vždy přicházel pouze signál z vysílače Tlustá hora. Jenže po uvedení obou dokrývačů do provozu došlo k situaci, kdy se na vstupu opakováče Nový Hrozenkov objevil jednak signál z vysílače Tlustá Hora a navíc také z nově spuštěného opakováče Huslenky. Objekt vysílače v Huslenkách leží přímo ve směru příjmu signálu z vysílače na Tlusté hoře na objektu Nový Hrozenkov. Navíc je jeden z hlavních směru vysílacího anténního systému v Huslenkách orientován právě směrem na Nový Hrozenkov. Novým měřením vstupního signálu bylo zjištěno, že se parametry značně liší a především jsou

R&S ETL Digital Overview

S/N 102124, FW 2.11

Ch: --- RF 570.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz

* Att 0 dB
ExpLvl -47.50 dBm

Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-47.4		10.0	dBm
Constellation			64 QAM NH / normal			
MER (rms)	24.0		31.0		----	dB
MER (peak)	10.0		10.3		----	dB
EVM (rms)	----		1.84		4.40	%
EVM (peak)	----		20.10		22.00	%
BER before Viterbi			8.8e-6(10/10)		1.0e-2	
BER before RS			0.0e-9(134/1K00)		2.0e-4	
BER after RS			0.0e-7(88/100)		1.0e-10	
Packet Error Ratio			0.0e-5(88/100)		1.0e-8	
Packet Errors			0		1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-2.3		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882			MBit/s

PSPA

64 QAM NH (64NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/4 (1/4)	2/3,2/3 (2/3,2/3)	Cell ID 0
TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	LI 1F

Lvl -47.4dBm | BER 0.0e-9 | MER 31.0dB | DEMOD MPEG

Obrázek 4.15: Parametry opakovače Huslenky MUX1 33.kanál

R&S ETL Digital Overview

S/N 102124, FW 2.11

Ch: --- RF 570.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz

* Att 0 dB
ExpLvl -47.50 dBm

Fail	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-48.8		10.0	dBm
Constellation			64 QAM NH / normal			
MER (rms)	24.0		29.6		-----	dB
MER (peak)	10.0	*	9.5		-----	dB
EVM (rms)	-----		2.18		4.40	%
EVM (peak)	-----	*	22.03		22.00	%
BER before Viterbi			8.3e-6(10/10)		1.0e-2	
BER before RS			0.0e-9(145/1K00)		2.0e-4	
BER after RS			0.0e-7(97/100)		1.0e-10	
Packet Error Ratio			0.0e-5(97/100)		1.0e-8	
Packet Errors			0		1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-3.3		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882			MBit/s

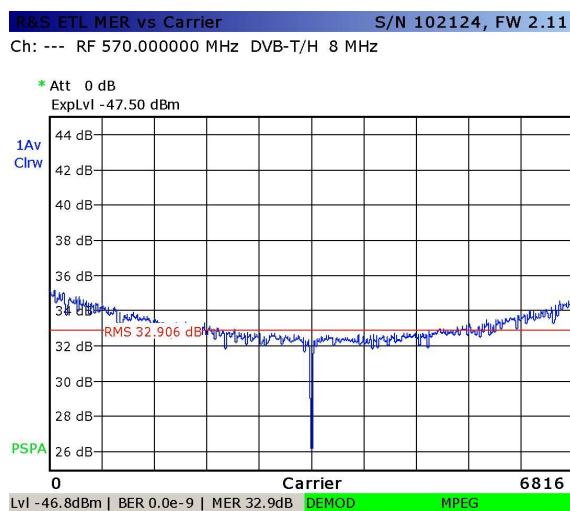
PSPA

64 QAM NH (64NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/4 (1/4)	2/3,2/3 (2/3,2/3)	Cell ID 0
TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	LI 1F

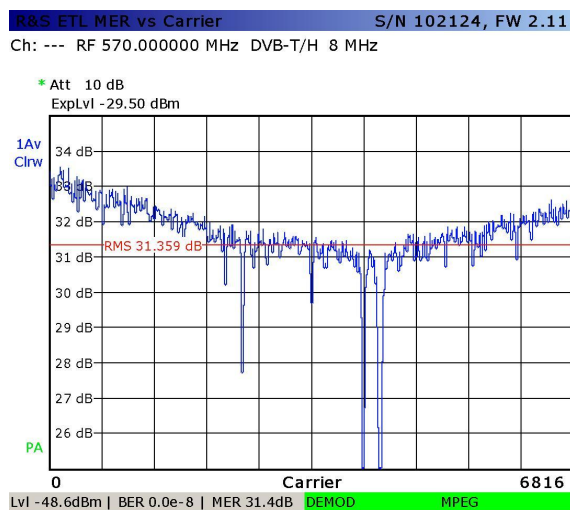
Lvl -48.8dBm | BER 0.0e-9 | MER 29.6dB | DEMOD MPEG

Obrázek 4.16: Parametry opakovače Nový Hrozenkov MUX1 33.kanál

v čase značně nestabilní. Tato nestabilita se projevowała především na parametru MER, který na jednotlivých nosných značně kolísal. na obr. 4.17 je průběh MERu přes všechny nosné při vypnutém a na obr. 4.18 je průběh MERu při zapnutém opakovači v Huslenkách. Pokles MERu na středních nosných na obr. 4.17 je způsoben drobným nevyvážením IQ modulátoru na primárním vysílači.



Obrázek 4.17: MER opakovače Nový Hrozenkov MUX1 33.kanál, Huslenky vypnuty



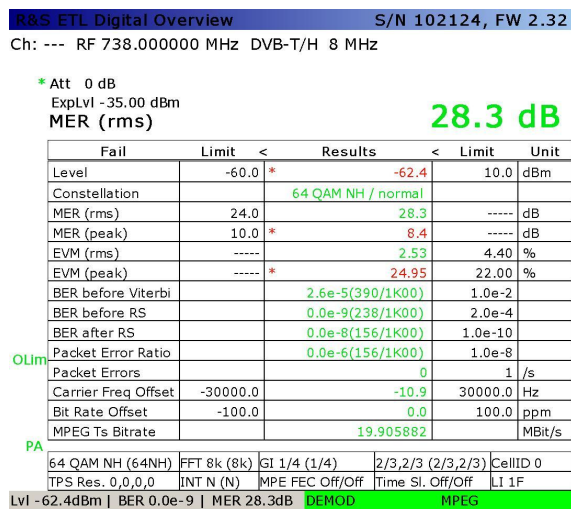
Obrázek 4.18: MER opakovače Nový Hrozenkov MUX1 33.kanál, Huslenky zapnuty

Bohužel se ukázalo, že není možno v Novém Hrozenkově provozovat opakovač na 33. televizním kanále, pokud bude v Huslenkách v provozu opakovač na stejném televizním kanále. Vzhledem k tomu, že na vysílači Nový Hrozenkov není možno přijí-

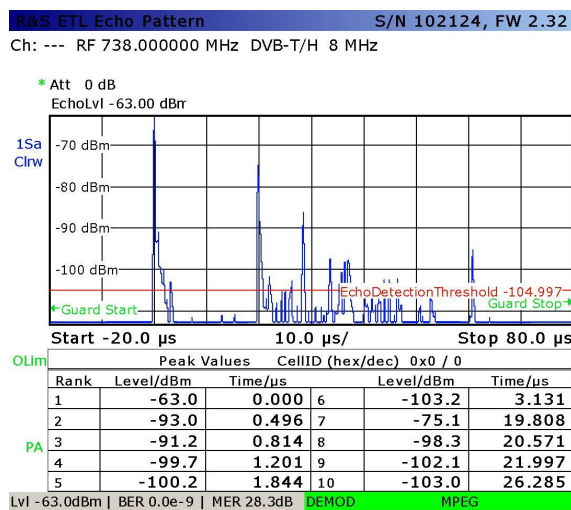
mat žádný jiný primární signál než z Tlusté hory, bylo jediným řešením změnit vysílací kanál v Huslenkách. Tady se nabízely dvě varianty. Zaprvé změnit režim dokrývače na převaděč a nadále využívat jako primární signál Tlustou horu, televizní kanál 33. Změnil by se pouze vysílací televizní kanál. Druhou variantou bylo ponechat režim opakovací a jako primární signál využívat 29. televizní kanál z vysílače Kojál. Tato varianta byla v návrhu také uvažována jako alternativa. Jelikož je pro ČTÚ jednodušší zkoordinovat vysílací kanál pro opakovací než pro převaděč, byla zvolena varianta opakovací signálu z vysílače Kojál na televizním kanále 29. Tím se odstranil problém na vysílači Nový Hrozenkov MUX1. Primární signál přicházel pouze z vysílače Tlustá hora, televizní kanál 33. Tento provoz ovšem také nebyl bez problémů. Vzhledem k nízké úrovni vstupního signálu, která je na hranici použitelnosti pro opakovací brzy nastaly problémy s vlastním echem a odrazy. V Novém Hrozenkově je 30 metrů vysoký anténní stožár, který je postaven v poměrně vysokém lese. Aby přijímací antény byly nad lesním porostem, musí být umístěny ve výšce 22 metrů. Vysílací systém je umístěn pouze o 10 metrů výše. Naneštěstí navíc jeden z hlavních směrů záření vysílacích antén je na stejném azimutu jako je směr příjmu od Tlusté hory, takže problémy s vlastním *echem* se ukázaly jako neřešitelné. Objekt vysílače není na úplně na vrcholu kopce a dochází zde k mnoha odrazům od okolních vyšších pahorků. Brzy se ukázalo, že provoz opakovací zde není možný.

Další varianta, která byla prozkoumána, bylo použití primárního signálu z vysílače Lysá hora na 54. televizním kanálu. Tato varianta v původním návrhu nebyla vůbec předpokládána, ale neočekávané okolnosti způsobily nutnost hledání nového řešení. Bylo v zájmu diváků, aby vysílací televizní kanál 33 zůstal zachován. V této fázi již byla uvažována pouze varianta provozu převaděče. Provoz opakovací byl zavrhnut vzhledem k předchozím zkušenostem. Směr na Lysou horu je zastíněn vyšším vrcholem s vysokými stromy. Přijímací anténa byla při měření vstupního signálu na 54. televizním kanálu umístěna až na vrchol stožáru do výšky 30 metrů, těsně nad vrcholy vysokých smrků. Přesto se signál ukázal jako nepoužitelný. Nízká vstupní úroveň -63 dBm , množství odrazů a nestabilní MER. Parametry jsou uvedeny na obr. 4.19 a obr. 4.20.

Jediným řešením se tedy ukázal provoz vysílače MUX1 v Novém Hrozenkově v režimu převaděč a jako primární signál využít opakovací v Huslenkách na 29. televizním kanále. Výstupní kanál zůstal stejný, tedy 33. Pro diváky v Novém Hrozenkově se vlastně nic nezměnilo a o změně primárního signálu neměli ponětí. Tato varianta byla považována za krajní řešení. Dochází zde k dvojitému převodu se všemi negativními důsledky, které byly popsány v předchozích kapitolách. Hlavním problémem je to, že jakákoliv porucha v Huslenkách se okamžitě projeví také na vysílači Nový Hrozenkov. Vlastní opakovací v Huslenkách je v podstatě bezporuchový, ale zůstává slábe hrozba dříve zmiňovaných problémů s dodávkou elektrické energie především při silných mrazech, které zde nejsou výjimkou. Příjem primárního signálu z opakovací Huslenky na televizním kanále 29 není nijak negativně ovlivněn signálem z vysílače Kojál, protože se signál z Kojálu díky terénu na přijímací antény v Novém Hrozenkově nedostane. Stejně tak není problém se signálem z vysílače Tlustá hora na 33. televizním kanále, který se díky terénnímu profilu nedostane k anténám diváků dole v obci. V opačném případě by signál z převaděče Nový



Obrázek 4.19: Parametry vstupního signálu z Lysé hory 54. kanál



Obrázek 4.20: Echo diagram vstupního signálu z Lysé hory 54. kanál

Hrozenkov byl rušen právě signálem z Tlusté hory, který není synchronizován v SFN síti s primárním signálem přicházejícím od vysílače Kojál. Toto řešení se po náročném testování jednotlivých variant ukázalo jako jediné možné a takto provozovaný převaděč z televizního kanálu 29 na 33. televizní kanál vysílá bez problémů.

Při plánování a budování vysílačů MUX2 byly využity zkušenosti nabyté při provozu vysílačů MUX1. V Huslenkách byl zvolen opakovač signálu z vysílače Kojál na 40. televizním kanále. Vstupní signál je naprosto v pořádku a provoz opakovače zcela bez problémů. V Novém Hrozenkově se nabízí stejné řešení jako v případě MUX1, tedy provozovat převaděč vstupního signálu opakovače Huslenky. Jak už bylo zmíněno v případě MUX1, k variantě s dvojitým převodem se přistupuje až po vyčerpání ostatních alternativ. Proto byla zvolena varianta převaděče s primárním signálem z Lysé hory na 37. televizním kanále. Vysílací kanál byl zvolen logicky 49, stejný jako v tomto prostoru využívají velké primární vysílače Tlustá hora a Ploštiny. Tím odpadá problém s koordinací. Na rozdíl od signálu MUX1 je signál MUX2 z Lysé hory na vrcholu stožáru vysílače Nový Hrozenkov v pořádku a použitelný pro provoz převaděče z televizního kanálu 37 na 49. televizní kanál. Jeho parametry jsou na obr. 4.21.

R&S ETL Digital Overview					
S/N 102124, FW 2.32					
Ch: --- RF 602.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz					
* Att 0 dB					
ExpLvl -30.00 dBm					
MER (rms)					
35.8 dB					
Pass	Limit	<	Results	<	Limit Unit
Level	-60.0		-55.5		10.0 dBm
Constellation			64 QAM NH / normal		
MER (rms)	24.0		35.8		dB
MER (peak)	10.0		19.0		dB
EVM (rms)	-----		1.07		4.40 %
EVM (peak)	-----		7.33		22.00 %
BER before Viterbi			0.0e-9(578/1K00)		1.0e-2
BER before RS			0.0e-9(354/1K00)		2.0e-4
BER after RS			0.0e-8(234/1K00)		1.0e-10
Packet Error Ratio			0.0e-6(234/1K00)		1.0e-8
Packet Errors			0		1 /s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-10.4		30000.0 Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0 ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882		MBit/s
PA					
64 QAM NH (64NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/4 (1/4)	2/3,2/3 (2/3,2/3)	CellID 0	
TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	L1 1F	
Lvl -55.5dBm BER 0.0e-9 MER 35.8dB DEMOD MPEG					

Obrázek 4.21: Parametry vstupního signálu z Lysé hory 37. kanál

V tomto území mezi obcemi Huslenky a Nový Hrozenkov se projeví téměř všechny negativní jevy, které se mohou při návrhu a hlavně provozu dokrývače projevit a byly popsány v kapitole 3. Nízká vstupní úroveň, více vstupních signálů na přijímací anténě ve srovnatelné úrovni, vysoké *echo*, velmi členitý terén a nakonec muselo být přistoupeno k ne příliš výhodné variantě dvojnásobného převodu. Vzhledem k okolnostem, které se při simulacích mimo reálný terén nedají nasimulovat, bylo nakonec zvoleno řešení, které nebylo součástí původního návrhu. Zkušenosti získané zde jsou velmi cenné a při návrhu dalších dokrývačů, např. v obci Jablunka, byly využity. Provoz opakovače zde byl vzhledem k parametrům primárního signálu zamítnut ještě před spuštěním.

Byl vybudován přímo převaděč signálu MUX1 s primárním signálem z Pradědu, čímž se pravděpodobně předešlo podobným problémům jako v popisovaném území.

4.2.2.2 Velké Karlovice Obec Velké Karlovice leží v horní části popisovaného údolí blízko státních hranic se Slovenskou republikou. Při návrhu bylo zmíněno, že získat koordinaci kmitočtu pro provoz zdejšího převaděče by nebylo jednoduché. Proto byla navržena výstavba opakovacího signálu vysílače Lysá hora na 54. televizním kanále v případě MUX1 a 37. televizním kanále v případě MUX2. Z terénního profilu na obr. 4.11 je zřejmé, že není přímá viditelnost ze stožáru vysílače ve Velkých Karlovicích v lokalitě nad Kyčerkou a vysílacími anténami na Lysé hoře. Dalo se tedy důvodně předpokládat, že přijímaný signál bude ovlivňován počasím, v čase bude značně nestabilní a bude se výrazně měnit s ročním obdobím. Jiná možnost příjmu primárního signálu však nepřicházela v úvahu, takže bylo potřeba udělat maximum pro to, aby se zde daly provozovat opakovací na 54. televizním kanálu pro MUX1 a 37. televizním kanálu pro MUX2. Tyto vysílací kanály nebyl problém získat, protože v této oblasti jsou televizní kanály 54 a 37 využívány v síti primárních velkých vysílačů. Vyzářený výkon zde byl Českým telekomunikačním úřadem stanoven na 10 W ERP. Na obr. 4.12 je vyobrazeno měření vstupního signálu MUX1, na obr. 4.22 signál MUX2.

R&S ETL Digital Overview

S/N 102124, FW 2.11

Ch: --- RF 602.000000 MHz DVB-T/H 8 MHz

* Att 0 dB
ExpLvl -39.50 dBm

Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-49.9		10.0	dBm
Constellation			64 QAM NH / normal			
MER (rms)	24.0		38.0		----	dB
MER (peak)	10.0		22.9		----	dB
EVM (rms)	----		0.82		4.40	%
EVM (peak)	----		4.70		22.00	%
BER before Viterbi			0.0e-8(43/100)		1.0e-2	
BER before RS			0.0e-8(25/100)		2.0e-4	
BER after RS			0.0e-7(15/100)		1.0e-10	
Packet Error Ratio			0.0e-5(15/100)		1.0e-8	
Packet Errors			0		1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0		-6.6		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		0.0		100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate			19.905882			MBit/s

PA

64 QAM NH (64NH)	FFT 8k (8k)	GI 1/4 (1/4)	2/3,2/3 (2/3,2/3)	Cell ID 0
TPS Res. 0,0,0,0	INT N (N)	MPE FEC Off/Off	Time Sl. Off/Off	L1 1F

Lvl -49.9dBm | BER 0.0e-8 | MER 38.0dB DEMOD MPEG

Obrázek 4.22: Parametry vstupního signálu MUX2 z Lysé hory 37. kanál

Z měření je patrné, že úrovně signálu MUX1 a MUX2 se liší o 3 dB. Přijímací antény jsou umístěny ve výšce 15 metrů, vysílací anténní systém je na vrcholu 30 metrů vysokého stožáru. Výkonové úrovně signálů jsou na hranici použitelnosti pro provoz opakováčů, u MUX1 spíše pod ní. Po spuštění opakováče MUX1 na televizním kanále 54 docházelo občas ke stavu, kdy *echo canceller* nedokázal eliminovat vlastní *echo* ve spojení s mnoha odrazy a docházelo k redukci výstupního výkonu. Stejná situace nastala po spuštění opakováče MUX2 na televizním kanálu 37, vzhledem k vyšší úrovni vstupního signálu než u MUX1 v menší míře. K výraznému zhoršení situace došlo letos v zimě, kdy se vlivem

velmi nízkých venkovních teplot vytvořila silná, několikacentimetrová námraza na vysílacím anténním systému na vysílači Lysá hora. Z toho důvodu došlo k poklesu vstupních úrovní na opakovacích ve Velkých Karlovicích až o 8 dB. Tato úroveň už není dostatečná a *echo canceller* nedokáže *echo* eliminovat. Nezbyvalo nic jiného, než zredukovat výstupní výkon obou opakováčů na takovou úroveň, kdy pracují spolehlivě. Naštěstí i po této redukci je území Velkých Karlovic spolehlivě pokryto. V zimním období je objekt velmi obtížně dostupný a vzhledem k námraze na stožáru není na experimenty příliš prostor. Ukázalo se, že by bylo vhodné změnit režim obou vysílačů na převaděč. K tomu je však nutno nalézt vhodné vysílací kanály, se kterými by souhlasila slovenská strana. V případě MUX2 se nabízí možnost použít stejný kanál jako v Novém Hrozenkově, tedy 49. I když se najde území, kde se signály z obou převaděčů budou překrývat, není v tom problém. Jak převaděč v Novém Hrozenkově, tak i převaděč ve Velkých Karlovicích by přijímaly signál ze stejného primárního vysílače z Lysé hory. V kapitole 3.4 bylo ukázáno, že při použití GPS přijímačů na obou převaděčích mohou pracovat společně a nebudou se vzájemně rušit. Toto řešení se však nedá použít u vysílače MUX1, protože v Novém Hrozenkově není k dispozici vstupní signál z Lysé hory. Pro dokrývač MUX1 by tedy bylo vhodné nalézt nový vysílací kanál. V úvahu přichází například televizní kanál 43, který se v síti MUX1 používá a existuje možnost, že by bylo reálné jej mezinárodně zkoordinovat. Tento televizní kanál je využíván například v nepříliš vzdálené Jablůnce. Změna vysílacích kanálů s sebou ale nese komplikaci pro diváky, především pokud mají nainstalovány v anténách rozvodech kanálové filtry nebo zesilovače.

5 Závěr

V mé práci byly shrnuty možné varianty sekundárního dokrytí území signálem pozemní digitální televize v systému DVB-T. Dále byly analyzovány možné problémy při přípravě návrhu řešení a poté při výstavbě a provozu digitálních dokrývačů. V závěrečné kapitole byl navržen způsob dokrytí území na Vsetínsku. Praktická realizace dokrytí tohoto údolí ukázala, že v takto členitém terénu nemusí být původní návrh vytvořený na základě počítačových simulací a měření primárních signálů realizovatelný. Všechny hodnoty pro návrh se zdály být v souladu s doporučeními v kapitole 3 a přesto se vyskytl velmi vysoký počet neočekávaných problémů. Po mnoha hodinách měření a hledání možných variant se však řešení pro většinu dokrývačů našlo. Dnes mají diváci v tomto popsaném regionu možnost nerušeného bezchybného příjmu signálu digitální televize v systému DVB-T. Zbývá snad jen nalézt vhodnější řešení pro lokalitu Velké Karlovice. Ale i zde mají diváci kvalitní příjem obou multiplexů, popisované problémy jsou spíše na straně provozovatele dokrývačů. Ukázalo se, že provozovat opakovače či převaděče digitálního televizního signálu v takto náročných horských terénech není zdaleka jednoduchá záležitost a vyžaduje pečlivé zvážení všech možných komplikací. Období výstavby digitálních televizních vysílačů v systému DVB-T se však pomalu chýlí ke konci. Letošní rok bude ve znamení výstavby prvních vysílačů v systému DVB-T2 a s tím spojeným vysíláním ve vysokém rozlišení. Vzhledem k tomu, že v tomto roce budou probíhat dvě významné sportovní události, Mistrovství Evropy ve fotbale v Polsku a na Ukrajině a také Letní olympijské hry v Londýně, mohl by být start vysílání na nové platformě DVB-T2 velmi úspěšný. Musí však být nezbytně podpořen také prodejem vhodných a cenově dostupných přijímačů. Zatím bohužel na našem trhu nejsou k dispozici. Na závěr bych chtěl vyslovit přání, aby projekt DVB-T2 byl minimálně stejně úspěšný jako projekt DVB-T. Pevně doufám, že se ho budu moci aktivně zúčastnit, podobně jako v případě DVB-T.

Rudolf Medula

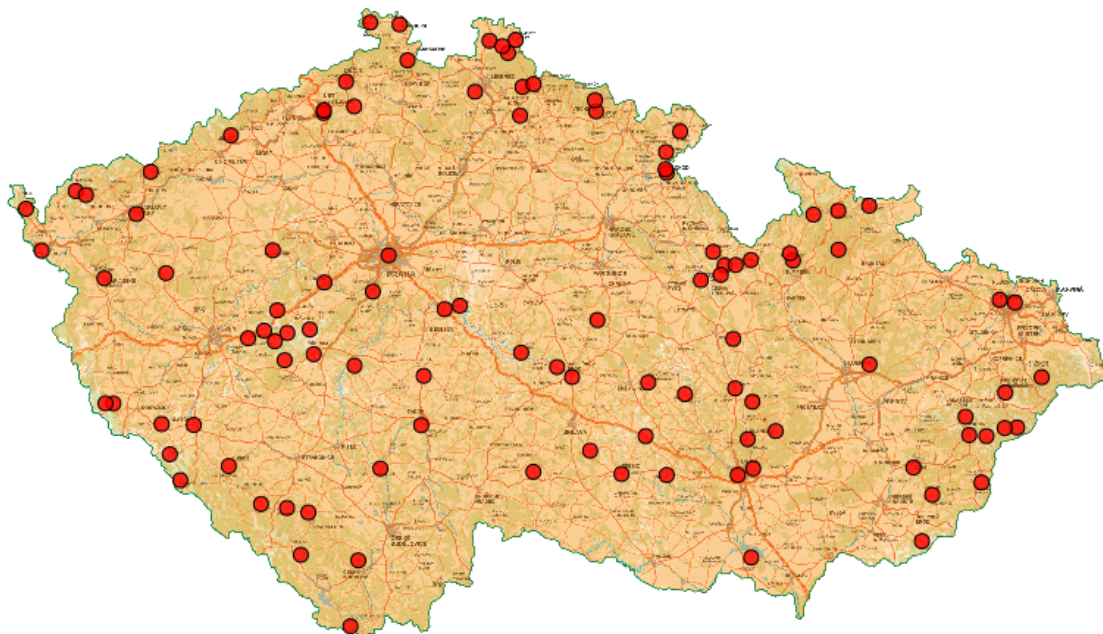
6 Reference

- [1] Zprava-08_vyhodnoceni_tpp_15_03_2012.pdf [Http://www.ctu.cz](http://www.ctu.cz) [online]. 2008, 2012-03-15 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: http://www.ctu.cz/cs/download/digitalni_vysilani/zprava-08_vyhodnoceni_tpp_15_03_2012.pdf
- [2] *Vyhláška 105/2010 sb. o plánu přidělení kmitočtových pásem*. Česká republika. Praha: ČTÚ, 2010.
- [3] *Vyhláška 163/2008 sb. o způsobu stanovení území pokrytého signálem televizního vysílání, metodě stanovení intenzity elektromagnetického pole a z toho odvozeného pokrytí obyvatel signálem televizního vysílání* Česká republika. Praha: ČTÚ, 2008.
- [4] ETSI TS 101 191. *Digital Video Broadcasting (DVB): DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization*. V1.4.1. Sophia Antipolis Cedex - FRANCE, 2004. Dostupné z: <http://www.etsi.org>
- [5] R&S@XLx8000 UHF/VHF Transposers. [Http://www.rohde-schwarz.cz/cz/](http://www.rohde-schwarz.cz/cz/) [online]. 2012 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: http://www.rohde-schwarz.cz/cz/products/broadcasting/tv_transmitters/XLx8000-|-30-|-4996.html
- [6] R&S@ETL TV Analyzer. [Http://www.rohde-schwarz.cz/cz/](http://www.rohde-schwarz.cz/cz/) [online]. 2012 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: http://www.rohde-schwarz.cz/cz/products/broadcasting/broadcasting_measurement/ETL-|-30-|-2562.html
- [7] Pokrytí území ČR signálem TV vysílání | Zemské digitální TV vysílání v ČR. [Http://www.ctu.cz](http://www.ctu.cz) [online]. 2008, 2012-03-15 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://dtv.ctu.cz/mapa>
- [8] Vysílací síť 1: Veřejnoprávní multiplex. [Http://www.digitalni-televize.cz](http://www.digitalni-televize.cz) [online]. 1999-2012, 2012-04-16 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.digitalnitelevisce.cz/informace/DVB-T/vysilaci-sit-1.html>
- [9] Vysílací síť 2. [Http://www.digitalni-televize.cz](http://www.digitalni-televize.cz) [online]. 1999-2012, 2012-04-16 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.digitalnitelevisce.cz/informace/DVB-T/vysilaci-sit-2.html>
- [10] Vysílací síť 3. [Http://www.digitalni-televize.cz](http://www.digitalni-televize.cz) [online]. 1999-2012, 2012-04-16 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.digitalnitelevisce.cz/informace/DVB-T/vysilaci-sit-3.html>
- [11] Vysílací síť 4. [Http://www.digitalni-televize.cz](http://www.digitalni-televize.cz) [online]. 1999-2012, 2012-04-16 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.digitalnitelevisce.cz/informace/DVB-T/vysilaci-sit-4.html>

Přílohy

A Pokrytí ČR signálem DVB-T a parametry vysílání multiplexů

Multiplex 1

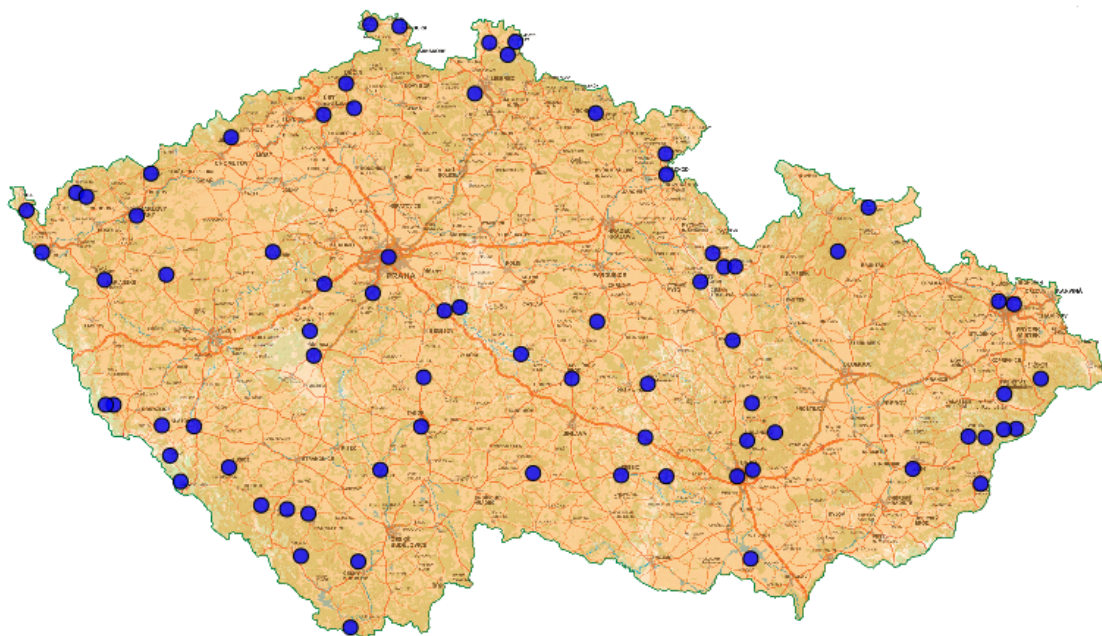


Obrázek A.1: Pokrytí signálem multiplexu 1. [7]

Šířka pásma	:	8 MHz
Vysílací mód	:	8k
Ochranný interval	:	1/4
Kódový poměr	:	2/3
Modulace	:	64-QAM
Hierarchický mód	:	ne
Celkový datový tok	:	19,10 Mbps

Tabulka A.1: Technické parametry multiplexu MUX1 [8]

Multiplex 2

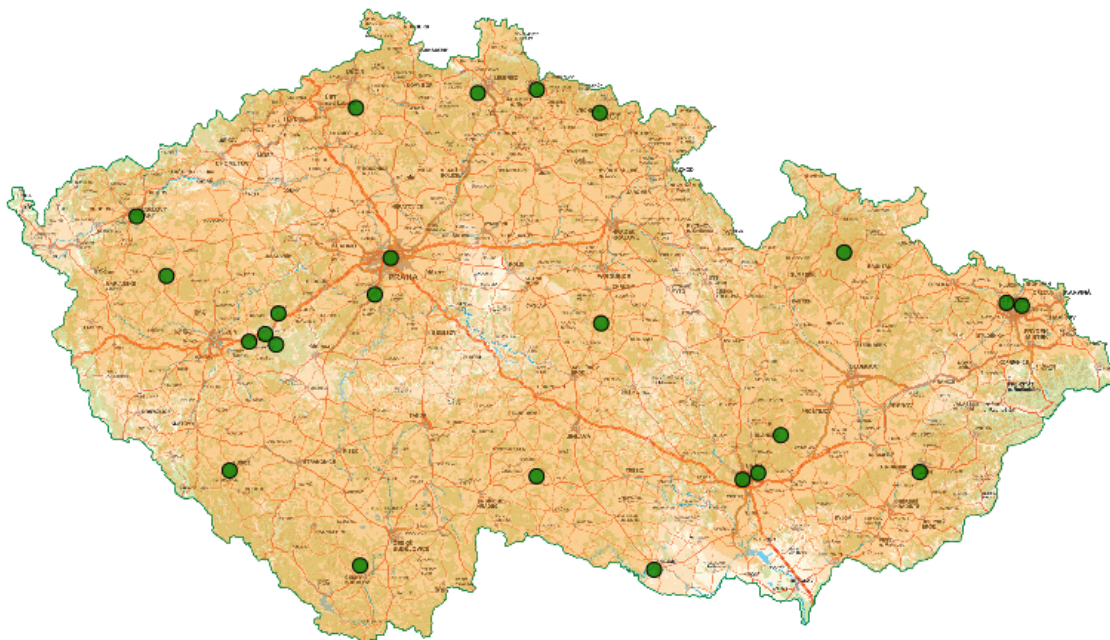


Obrázek A.2: Pokrytí signálem multiplexu 2. [7]

Šířka pásma	:	8 MHz
Vysílací mód	:	8k
Ochranný interval	:	1/4
Kódový poměr	:	2/3
Modulace	:	64-QAM
Hierarchický mód	:	ne
Celkový datový tok	:	19,10 Mbps

Tabulka A.2: Technické parametry multiplexu MUX2 [9]

Multiplex 3



Obrázek A.3: Pokrytí signálem multiplexu 3. [7]

Šířka pásma	:	8 MHz
Vysílací mód	:	8k
Ochranný interval	:	1/8
Kódový poměr	:	3/4
Modulace	:	64-QAM
Hierarchický mód	:	ne
Celkový datový tok	:	24,88 Mbps

Tabulka A.3: Technické parametry multiplexu MUX3 [10]

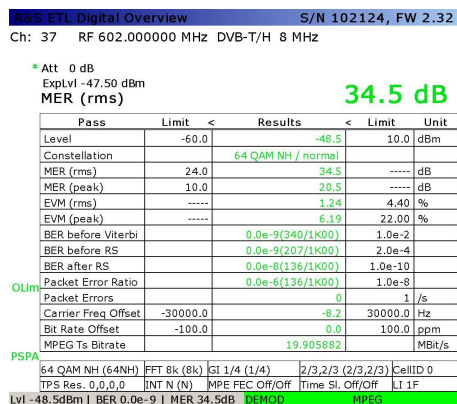
Multiplex 4



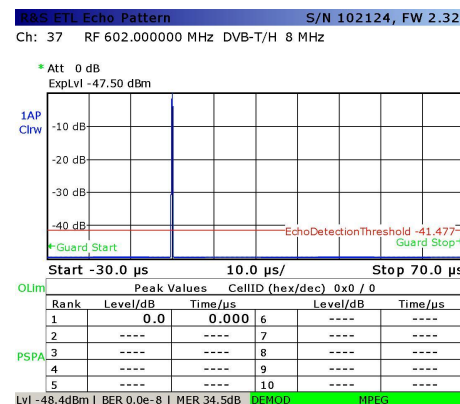
Obrázek A.4: Pokrytí signálem multiplexu 4. [7]

B Simulace provozu dvou dokrývačů v SFN síti

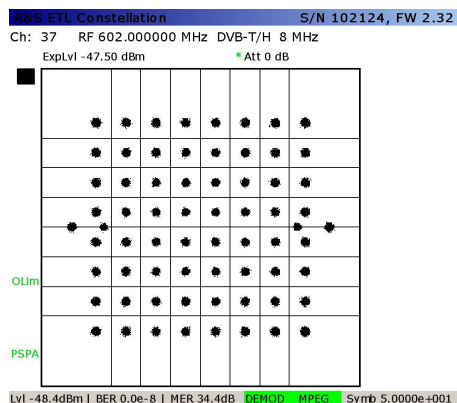
Parametry vysílače A



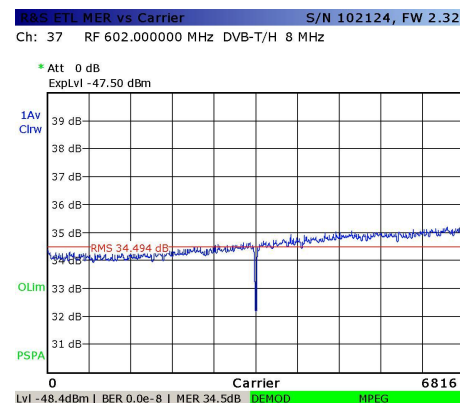
Obrázek B.1: Přehled parametrů



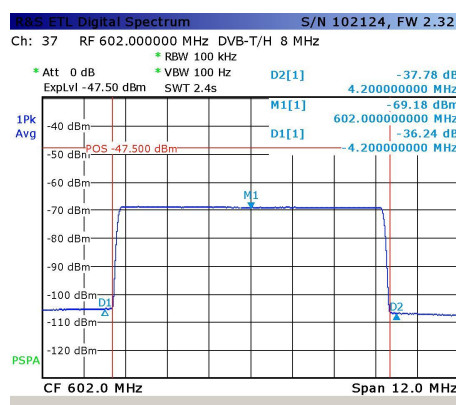
Obrázek B.2: Echo diagram



Obrázek B.3: Konstelační diagram

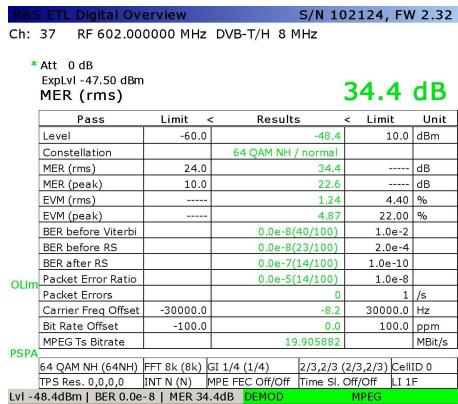


Obrázek B.4: Průběh MERu

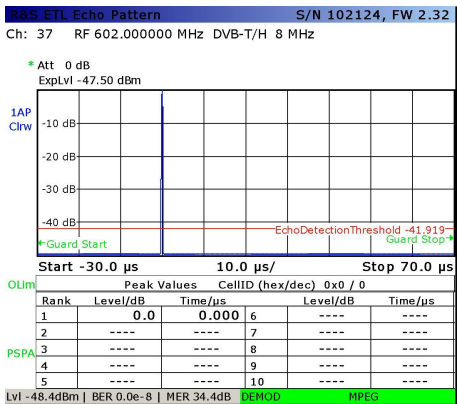


Obrázek B.5: Spektrum signálu

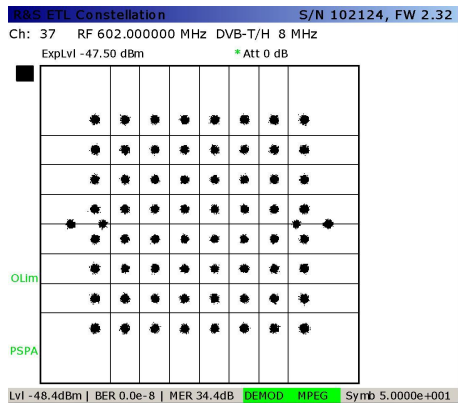
Parametry vysílače B



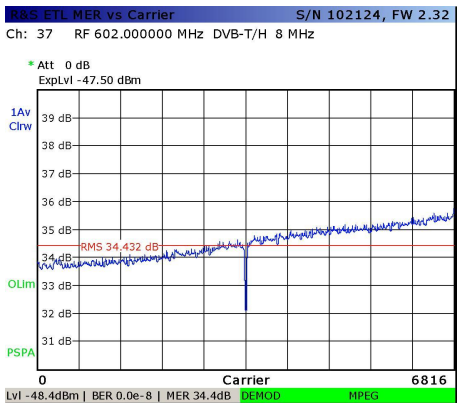
Obrázek B.6: Přehled parametrů



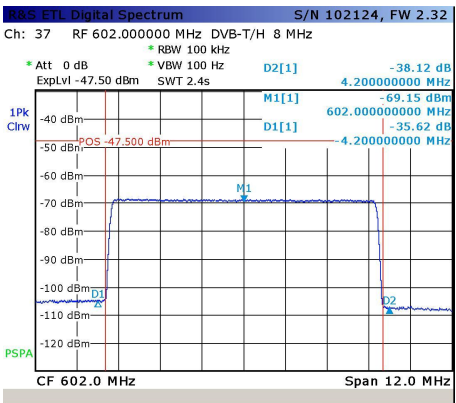
Obrázek B.7: Echo diagram



Obrázek B.8: Konstelační diagram

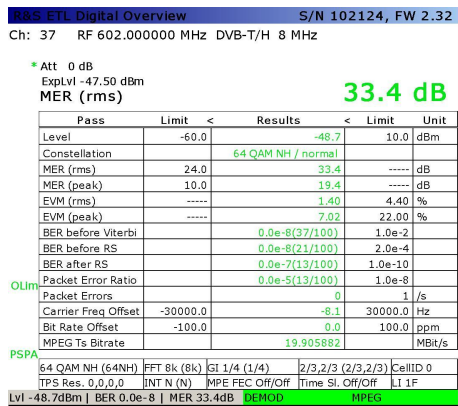


Obrázek B.9: Průběh MERu

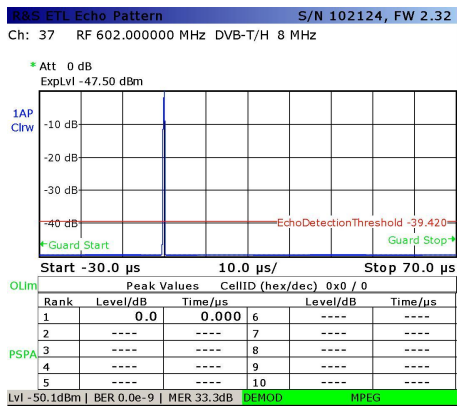


Obrázek B.10: Spektrum signálu

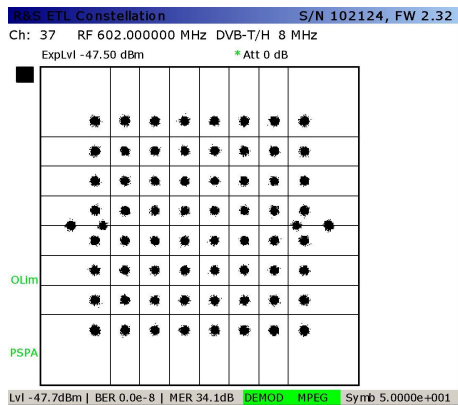
Dva vysílače, časový posuv 0 μ s, rozdíl úrovní 0 dB



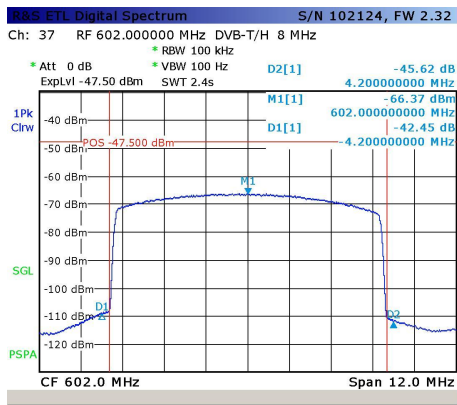
Obrázek B.11: Přehled parametrů



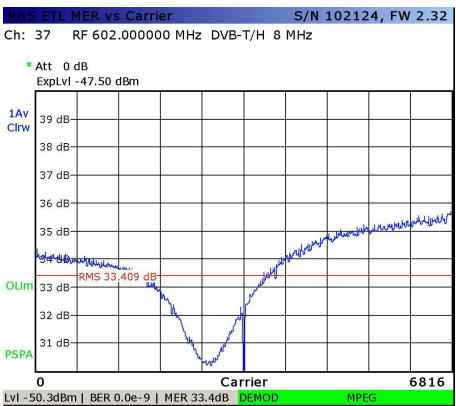
Obrázek B.12: Echo diagram



Obrázek B.13: Konstelační diagram

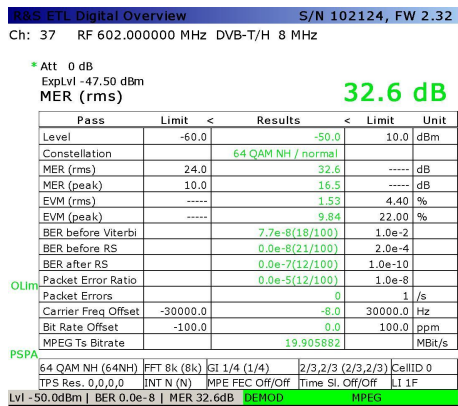


Obrázek B.14: Spektrum signálu

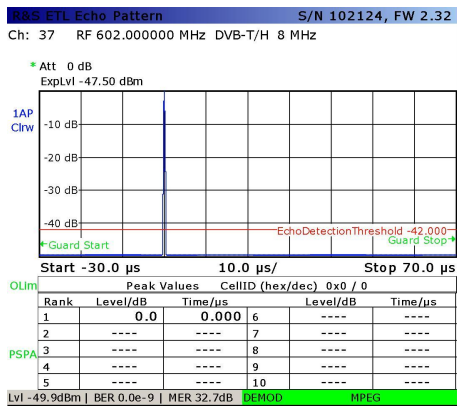


Obrázek B.15: Průběh MERu

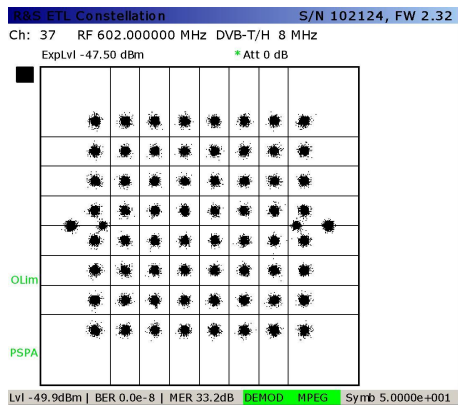
Dva vysílače, časový posuv 0 μ s, rozdíl úrovní 3 dB



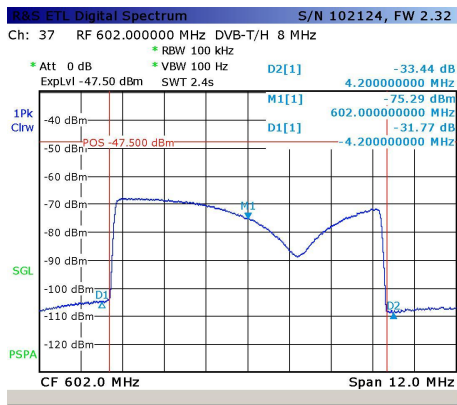
Obrázek B.16: Přehled parametrů



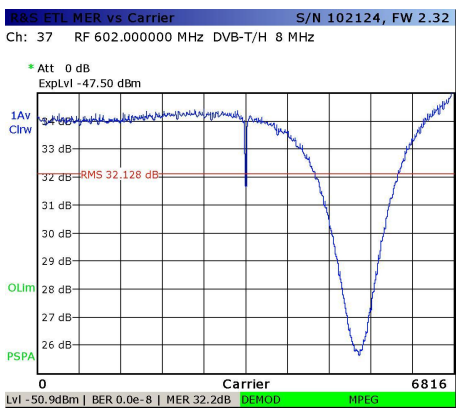
Obrázek B.17: Echo diagram



Obrázek B.18: Konstelační diagram

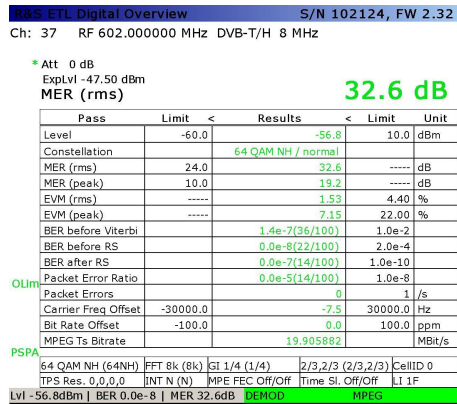


Obrázek B.19: Spektrum signálu

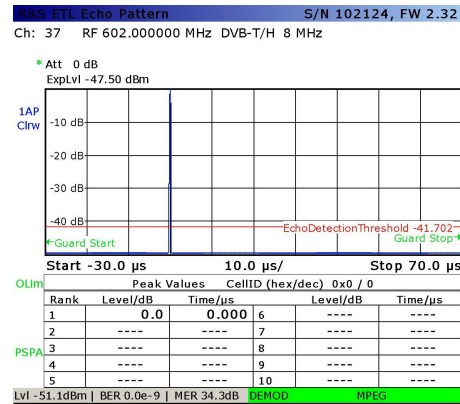


Obrázek B.20: Průběh MERu

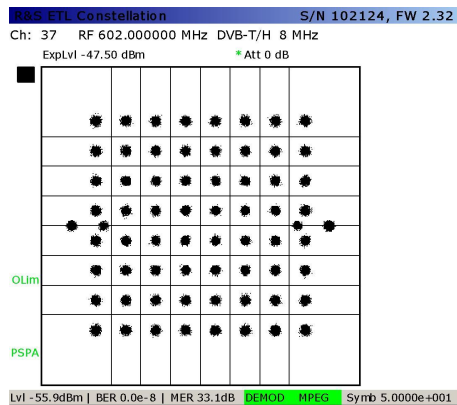
Dva vysílače, časový posuv $0 \mu s$, rozdíl úrovní 6 dB



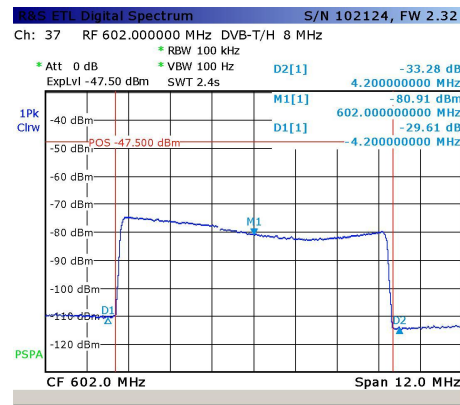
Obrázek B.21: Přehled parametrů



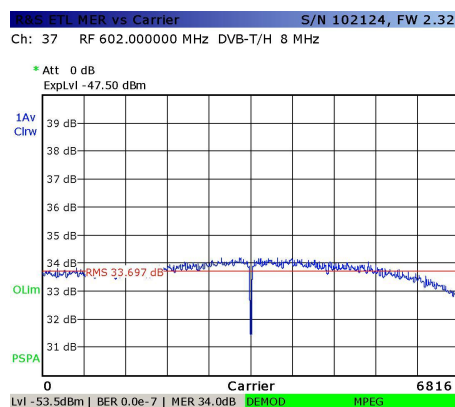
Obrázek B.22: Echo diagram



Obrázek B.23: Konstelační diagram

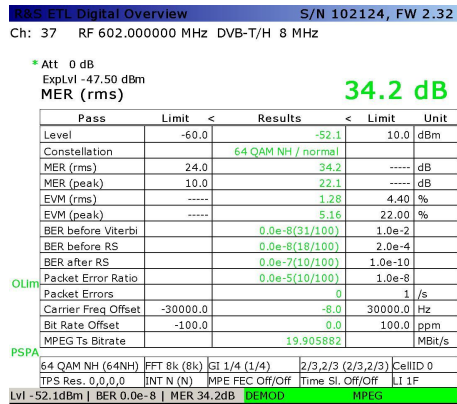


Obrázek B.24: Spektrum signálu

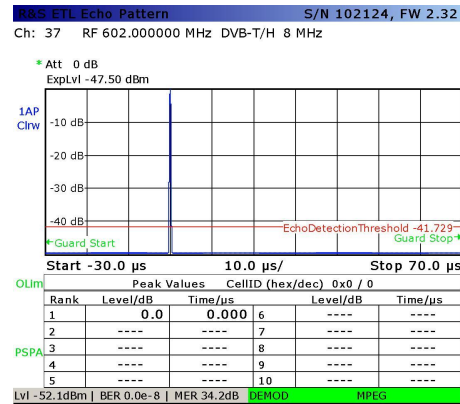


Obrázek B.25: Průběh MERu

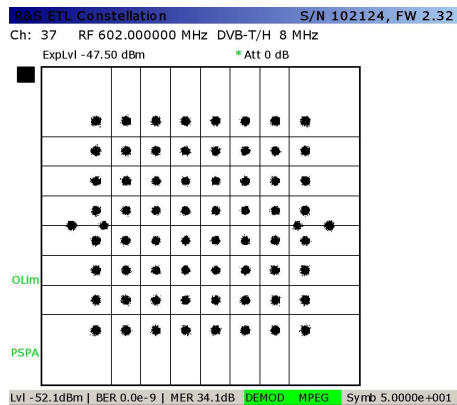
Dva vysílače, časový posuv 0 μ s, rozdíl úrovní 10 dB



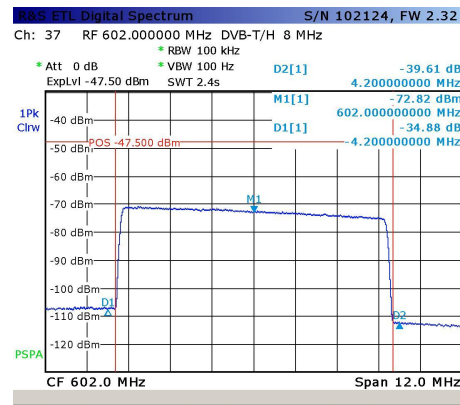
Obrázek B.26: Přehled parametrů



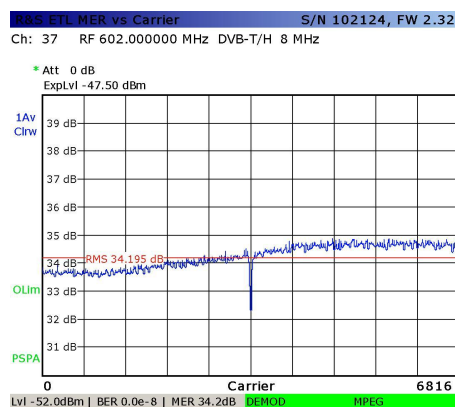
Obrázek B.27: Echo diagram



Obrázek B.28: Konstelační diagram

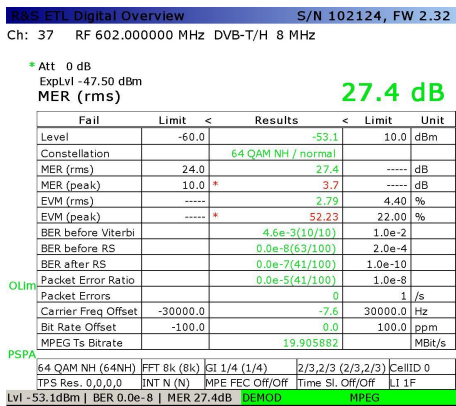


Obrázek B.29: Spektrum signálu

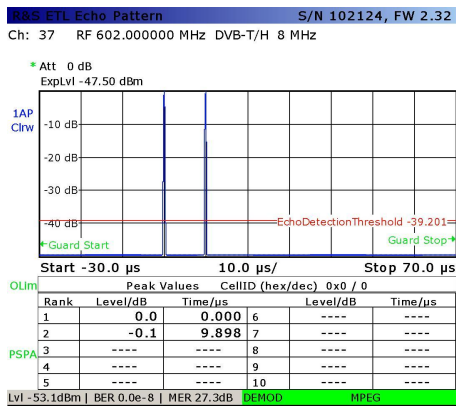


Obrázek B.30: Průběh MERu

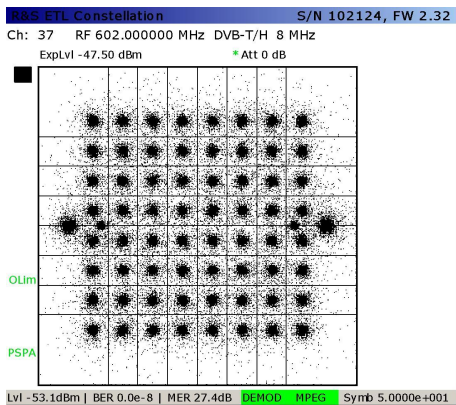
Dva vysílače, časový posuv 10 μ s, rozdíl úrovní 0 dB



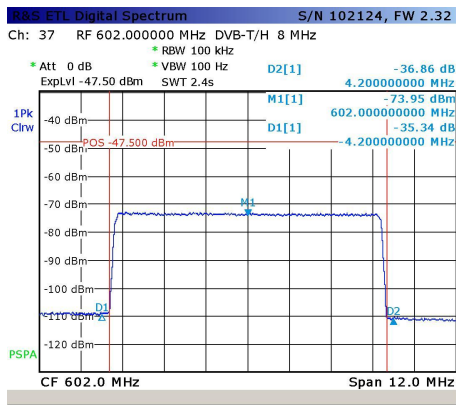
Obrázek B.31: Přehled parametrů



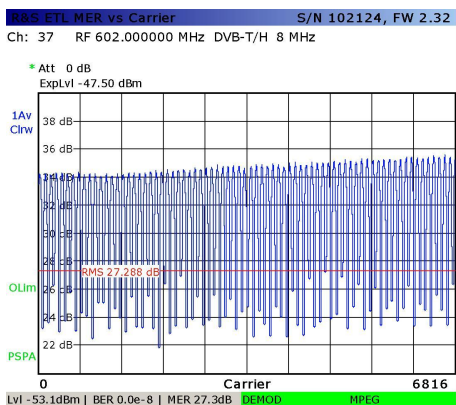
Obrázek B.32: Echo diagram



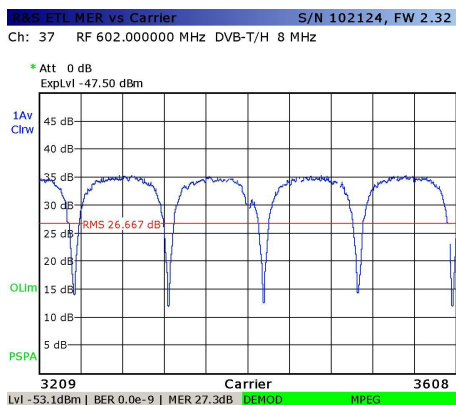
Obrázek B.33: Konstelační diagram



Obrázek B.34: Spektrum signálu

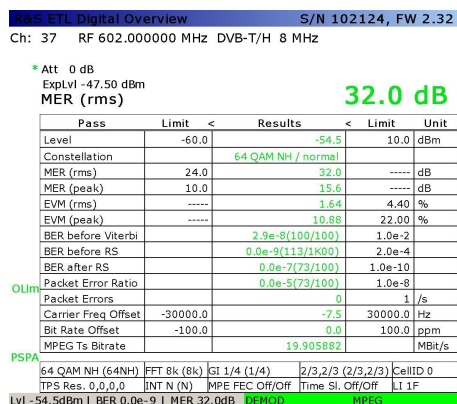


Obrázek B.35: Průběh MERu

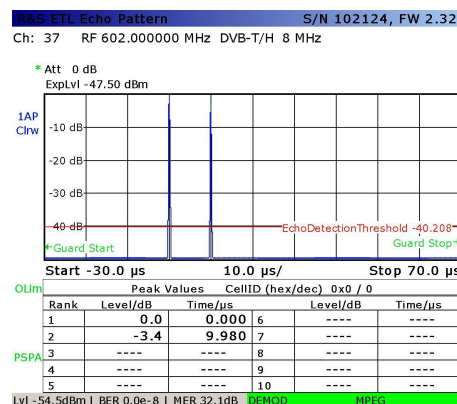


Obrázek B.36: Detail MERu

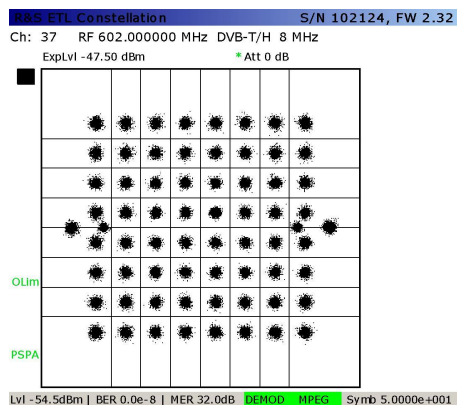
Dva vysílače, časový posuv 10 μ s, rozdíl úrovní 3 dB



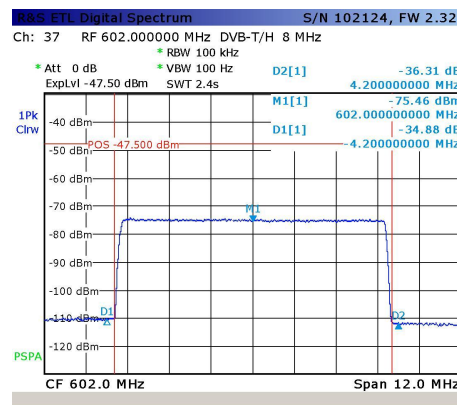
Obrázek B.37: Přehled parametrů



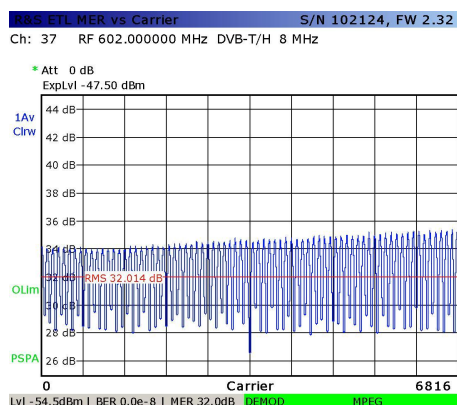
Obrázek B.38: Echo diagram



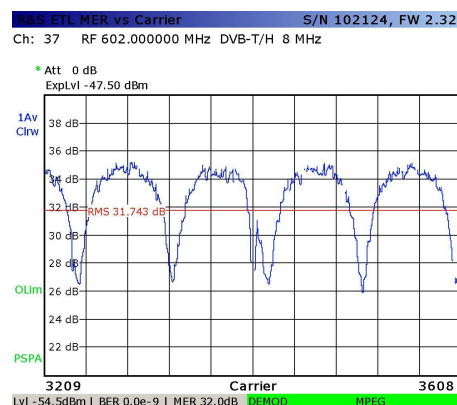
Obrázek B.39: Konstelační diagram



Obrázek B.40: Spektrum signálu

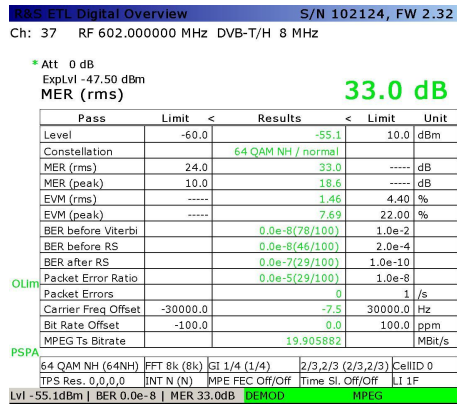


Obrázek B.41: Průběh MERu

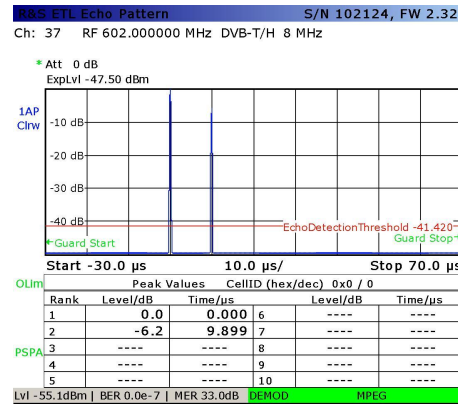


Obrázek B.42: Detail MERu

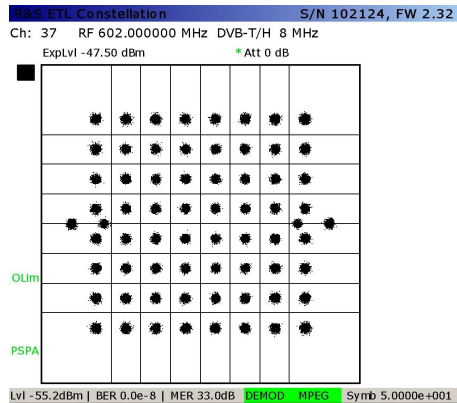
Dva vysílače, časový posuv 10 μ s, rozdíl úrovní 6 dB



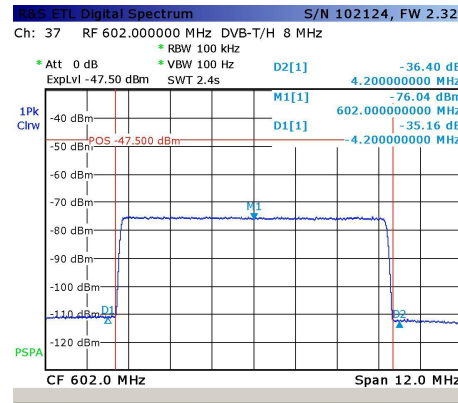
Obrázek B.43: Přehled parametrů



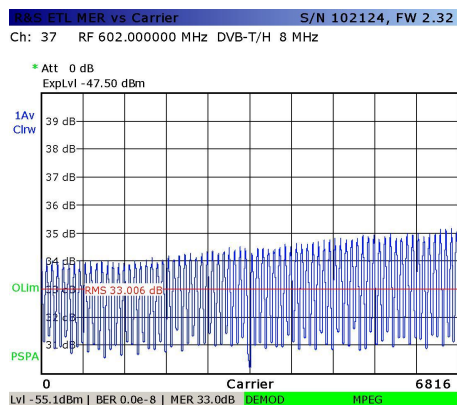
Obrázek B.44: Echo diagram



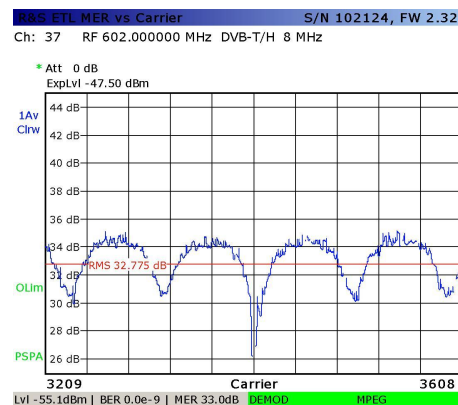
Obrázek B.45: Konstelační diagram



Obrázek B.46: Spektrum signálu

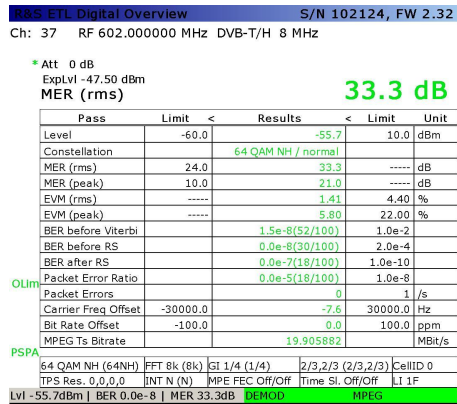


Obrázek B.47: Průběh MERu

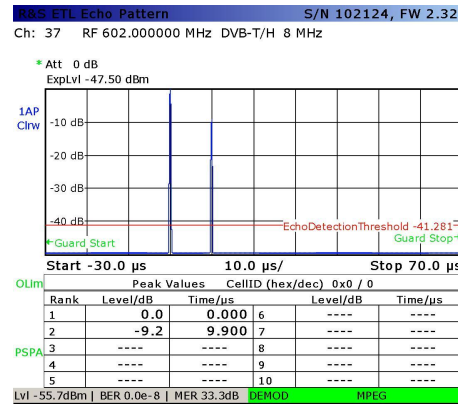


Obrázek B.48: Detail MERu

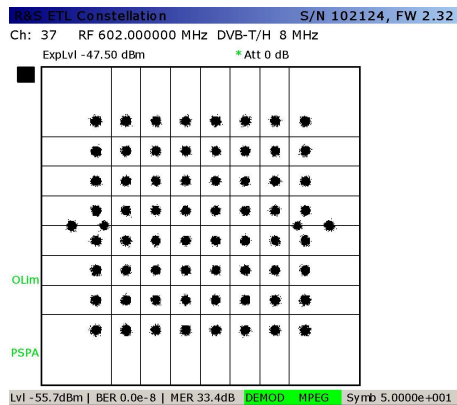
Dva vysílače, časový posuv 10 μ s, rozdíl úrovní 10 dB



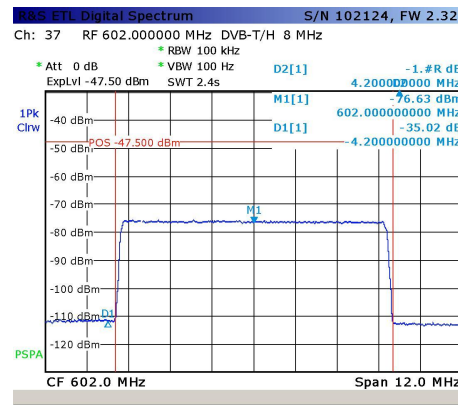
Obrázek B.49: Přehled parametrů



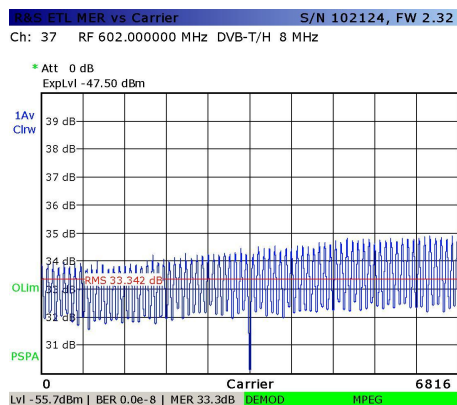
Obrázek B.50: Echo diagram



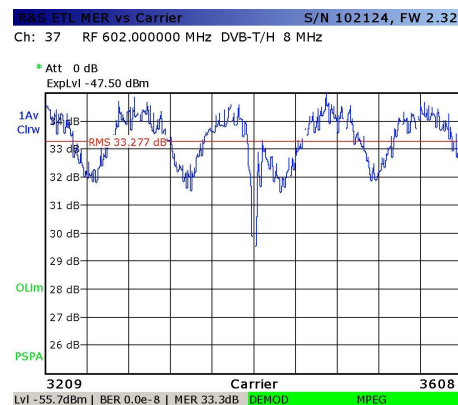
Obrázek B.51: Konstelační diagram



Obrázek B.52: Spektrum signálu

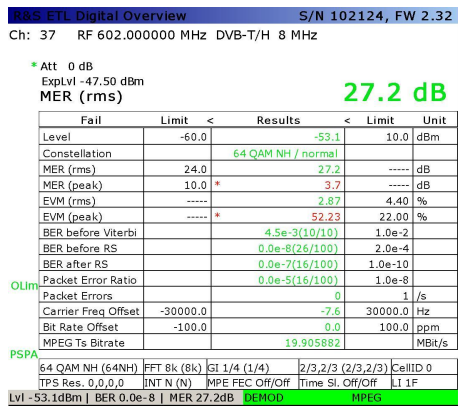


Obrázek B.53: Průběh MERu

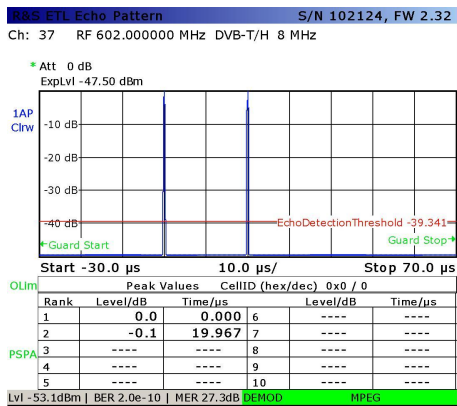


Obrázek B.54: Detail MERu

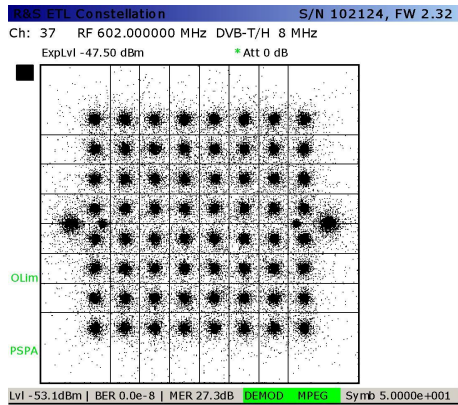
Dva vysílače, časový posuv 20 μ s, rozdíl úrovní 0 dB



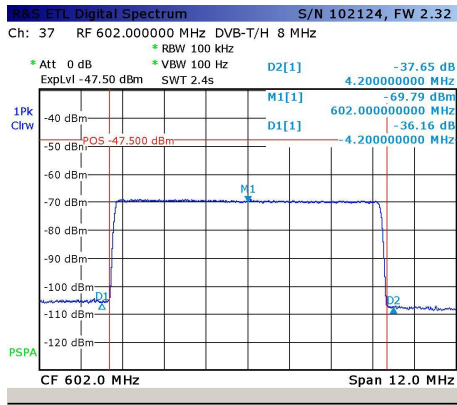
Obrázek B.55: Přehled parametrů



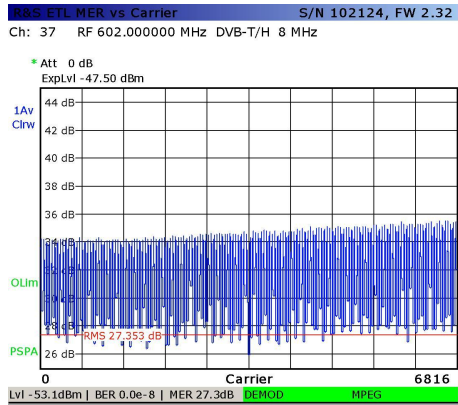
Obrázek B.56: Echo diagram



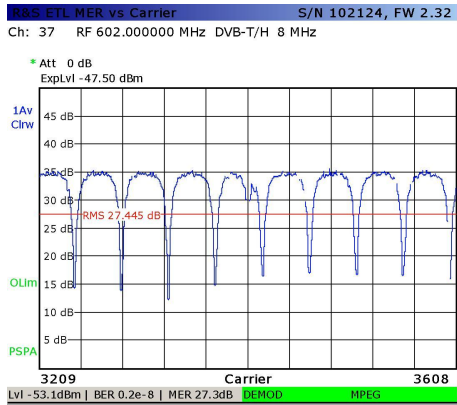
Obrázek B.57: Konstelační diagram



Obrázek B.58: Spektrum signálu

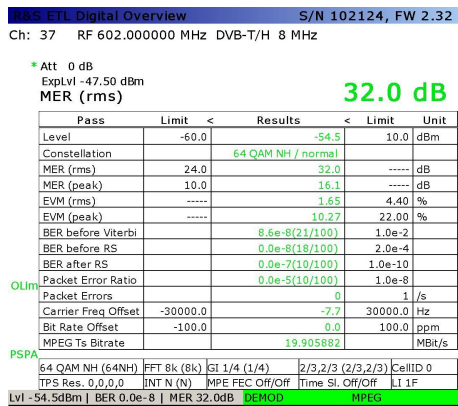


Obrázek B.59: Průběh MERu

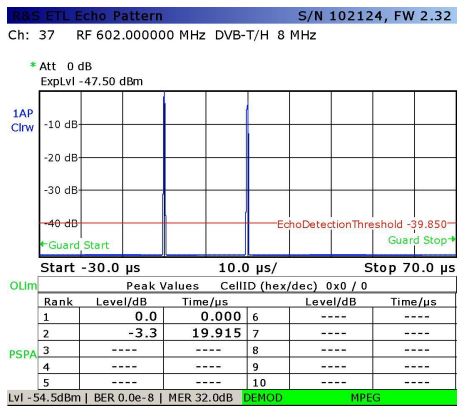


Obrázek B.60: Detail MERu

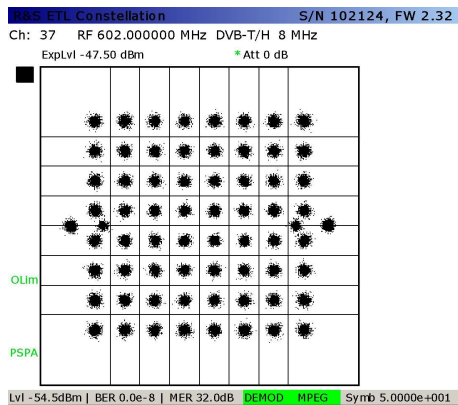
Dva vysílače, časový posuv 20 μ s, rozdíl úrovní 3 dB



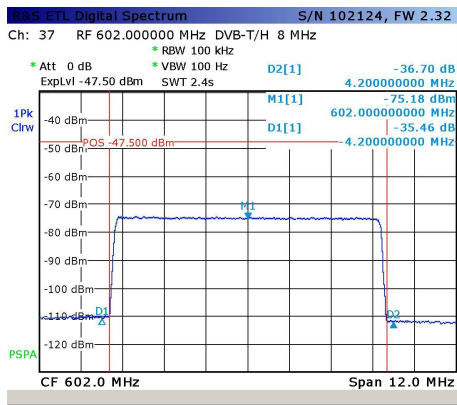
Obrázek B.61: Přehled parametrů



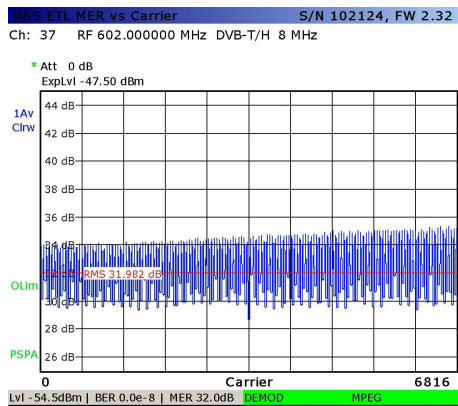
Obrázek B.62: Echo diagram



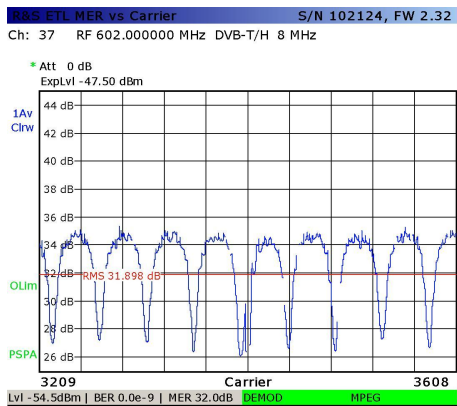
Obrázek B.63: Konstelační diagram



Obrázek B.64: Spektrum signálu

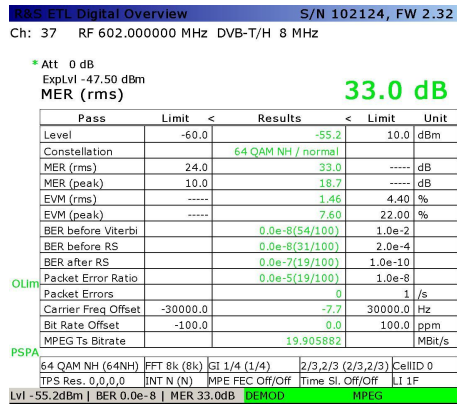


Obrázek B.65: Průběh MERu

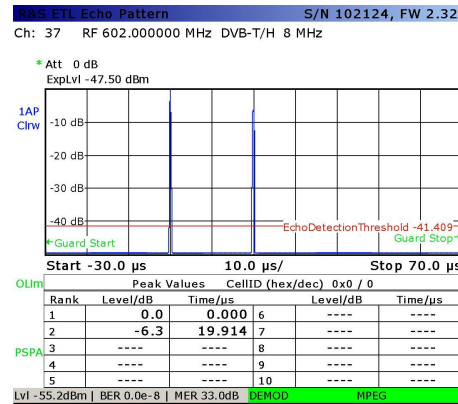


Obrázek B.66: Detail MERu

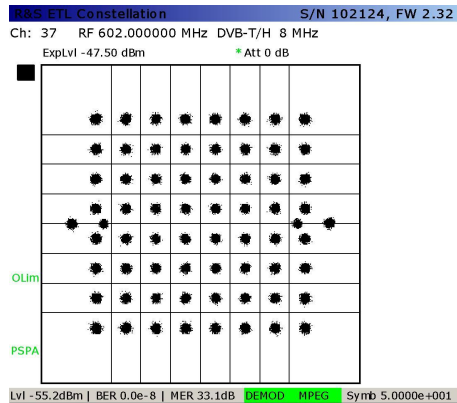
Dva vysílače, časový posuv 20 μ s, rozdíl úrovní 6 dB



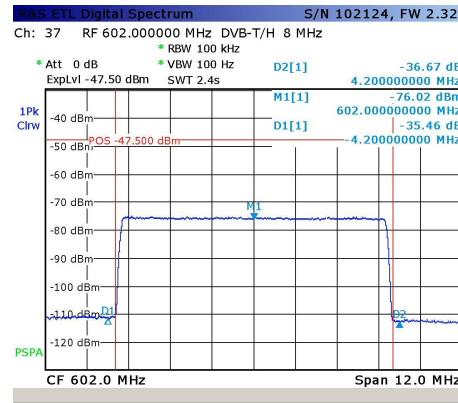
Obrázek B.67: Přehled parametrů



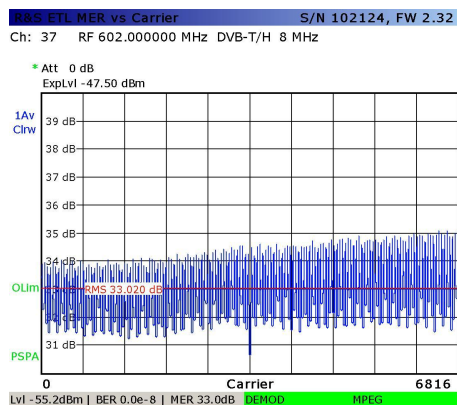
Obrázek B.68: Echo diagram



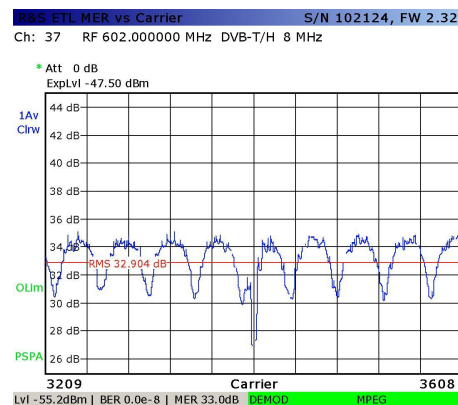
Obrázek B.69: Konstelační diagram



Obrázek B.70: Spektrum signálu

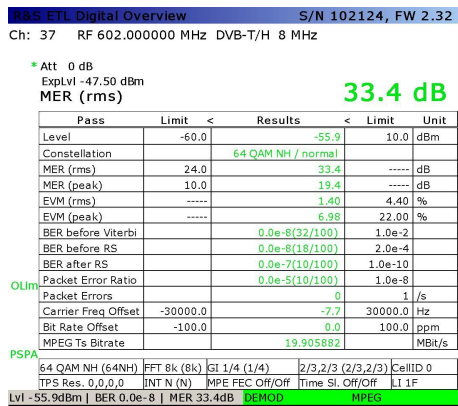


Obrázek B.71: Průběh MERu

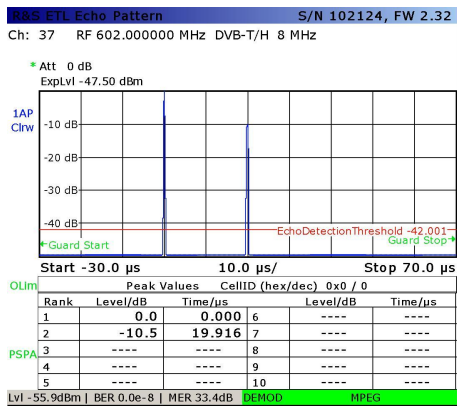


Obrázek B.72: Detail MERu

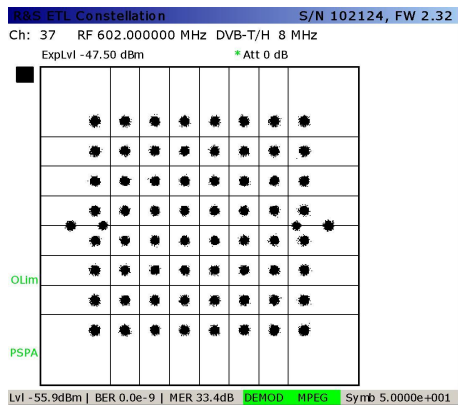
Dva vysílače, časový posuv 20 μ s, rozdíl úrovní 10 dB



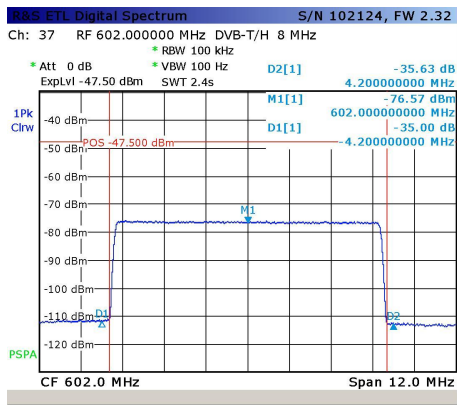
Obrázek B.73: Přehled parametrů



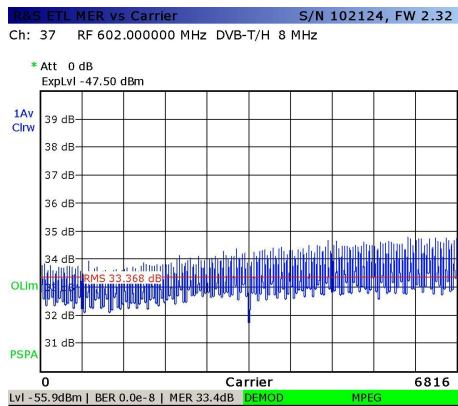
Obrázek B.74: Echo diagram



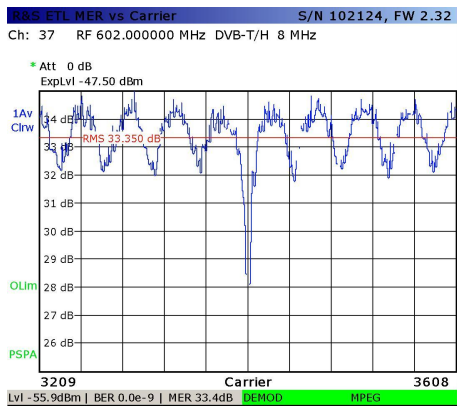
Obrázek B.75: Konstelační diagram



Obrázek B.76: Spektrum signálu

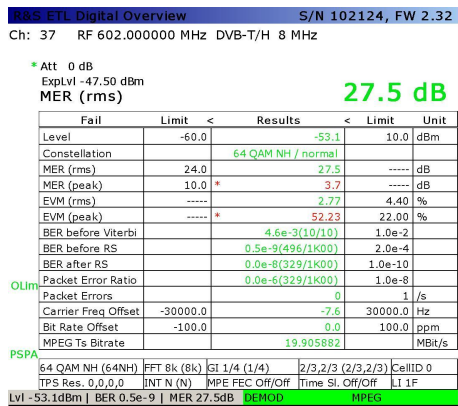


Obrázek B.77: Průběh MERu

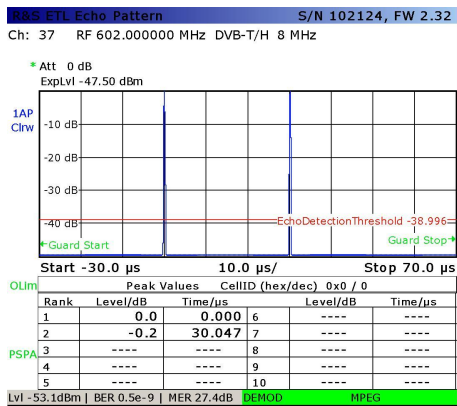


Obrázek B.78: Detail MERu

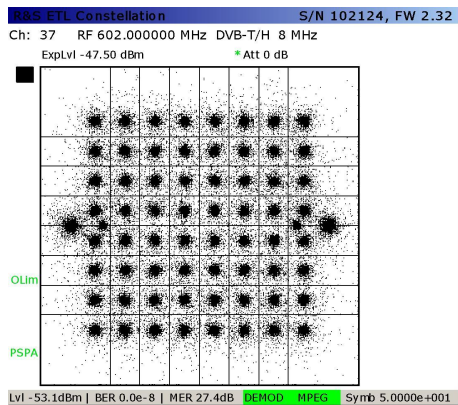
Dva vysílače, časový posuv 30 μ s, rozdíl úrovní 0 dB



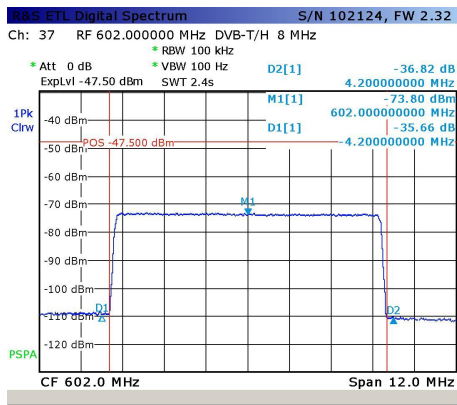
Obrázek B.79: Přehled parametrů



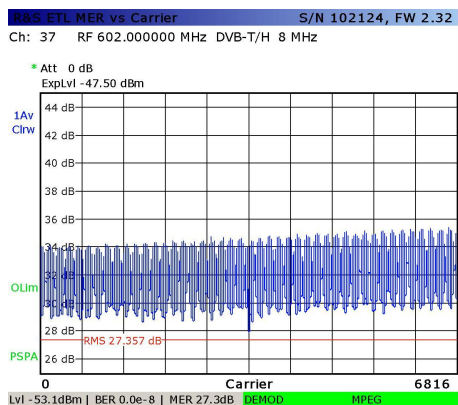
Obrázek B.80: Echo diagram



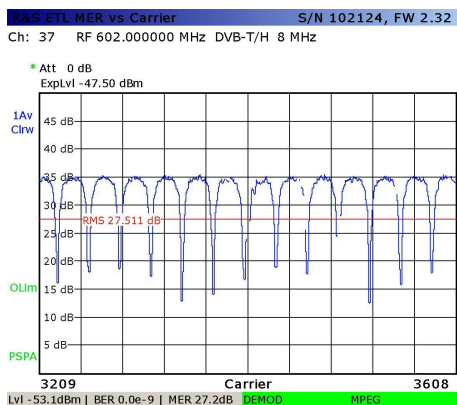
Obrázek B.81: Konstelační diagram



Obrázek B.82: Spektrum signálu

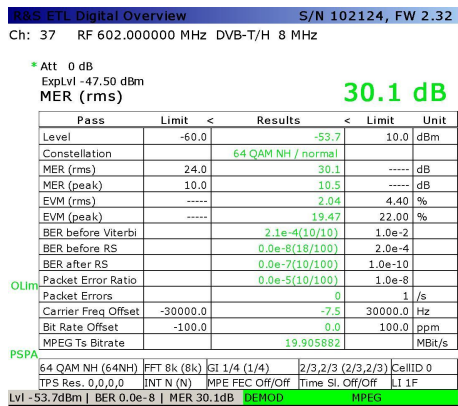


Obrázek B.83: Průběh MERu

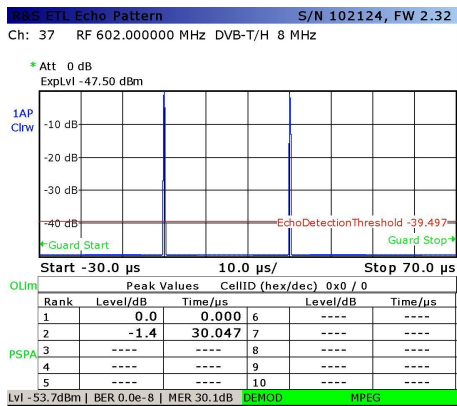


Obrázek B.84: Detail MERu

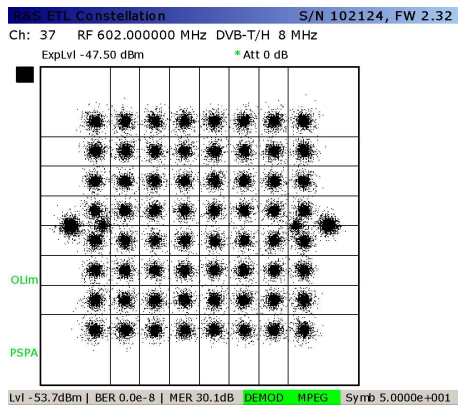
Dva vysílače, časový posuv 30 μ s, rozdíl úrovní 1 dB



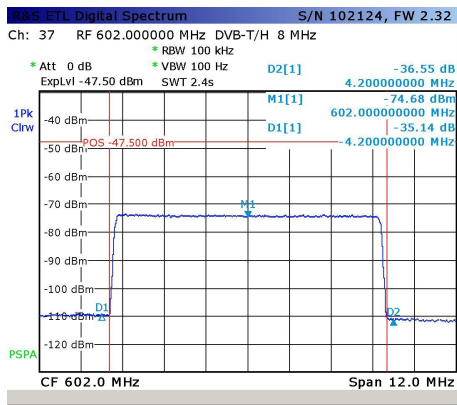
Obrázek B.85: Přehled parametrů



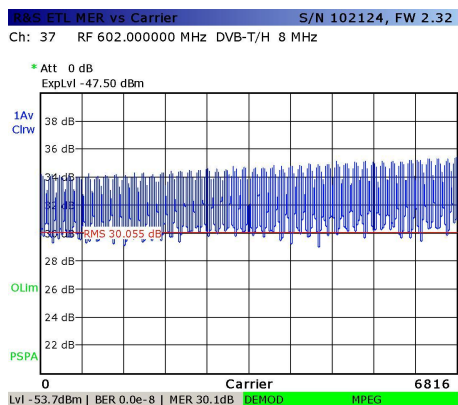
Obrázek B.86: Echo diagram



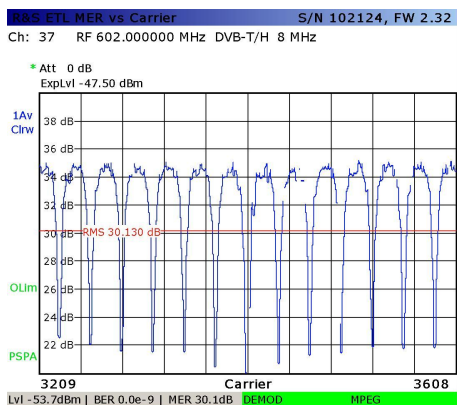
Obrázek B.87: Konstelační diagram



Obrázek B.88: Spektrum signálu

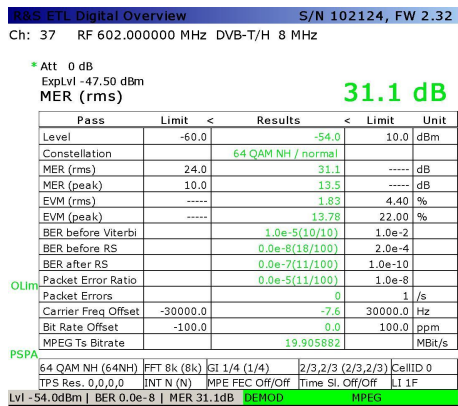


Obrázek B.89: Průběh MERu

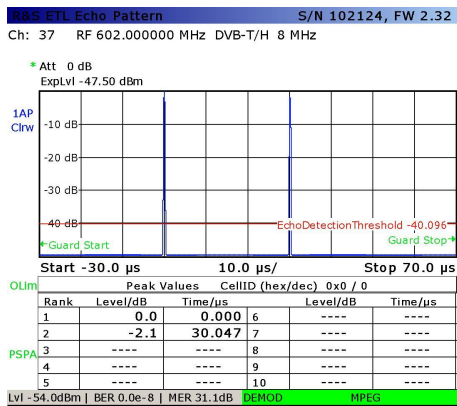


Obrázek B.90: Detail MERu

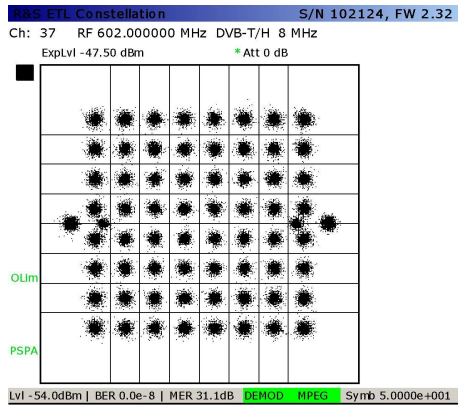
Dva vysílače, časový posuv 30 μ s, rozdíl úrovní 2 dB



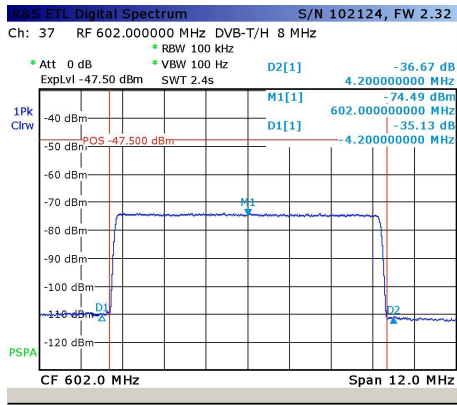
Obrázek B.91: Přehled parametrů



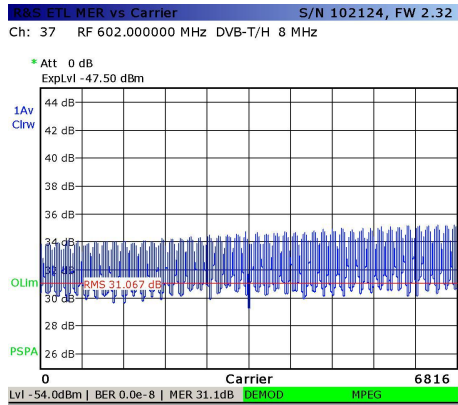
Obrázek B.92: Echo diagram



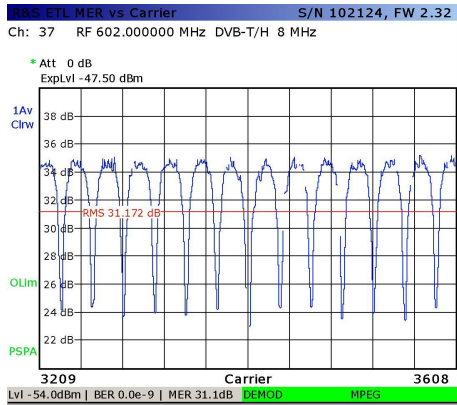
Obrázek B.93: Konstelační diagram



Obrázek B.94: Spektrum signálu

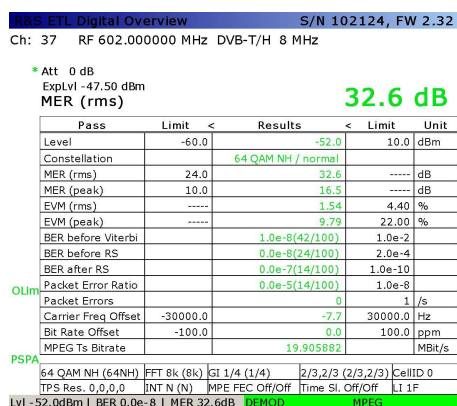


Obrázek B.95: Průběh MERu

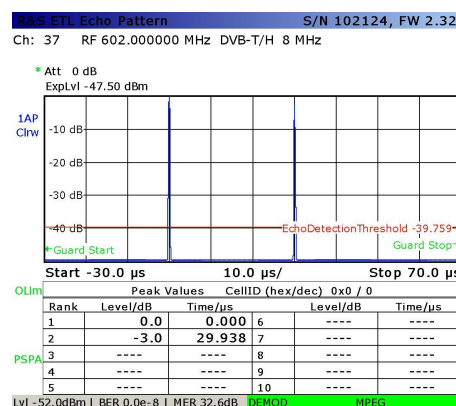


Obrázek B.96: Detail MERu

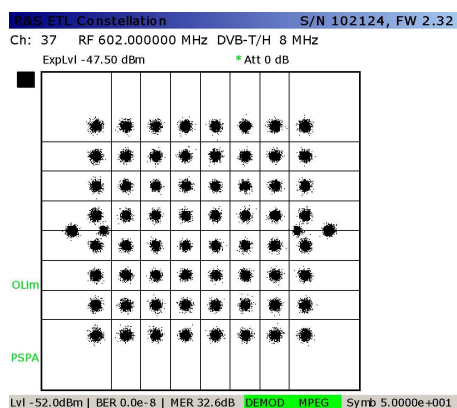
Dva vysílače, časový posuv 30 μ s, rozdíl úrovní 3 dB



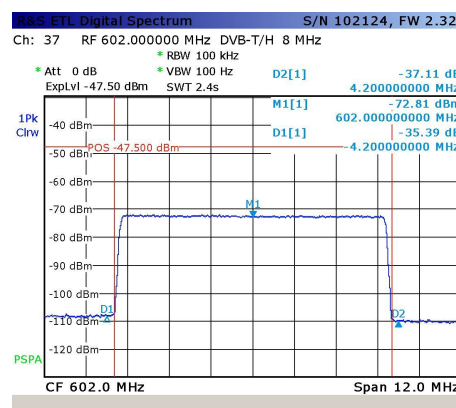
Obrázek B.97: Přehled parametrů



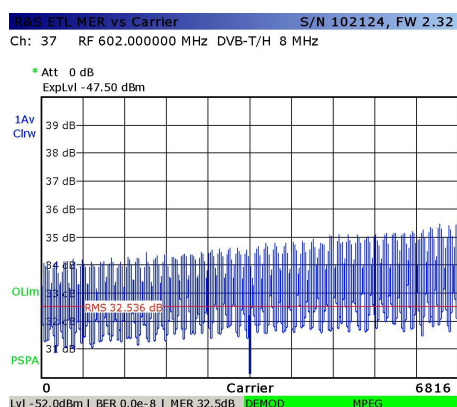
Obrázek B.98: Echo diagram



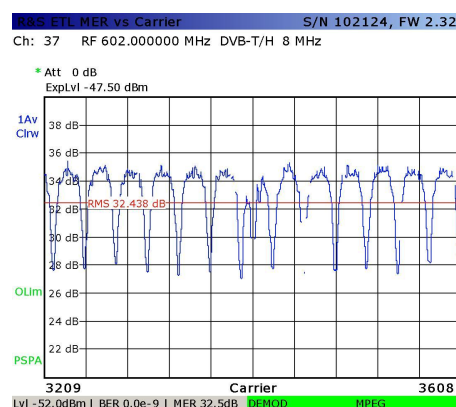
Obrázek B.99: Konstelační diagram



Obrázek B.100: Spektrum signálu

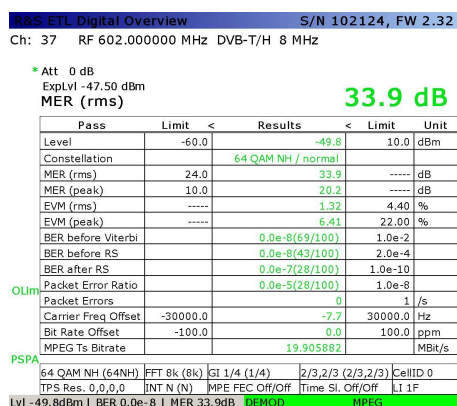


Obrázek B.101: Průběh MERu

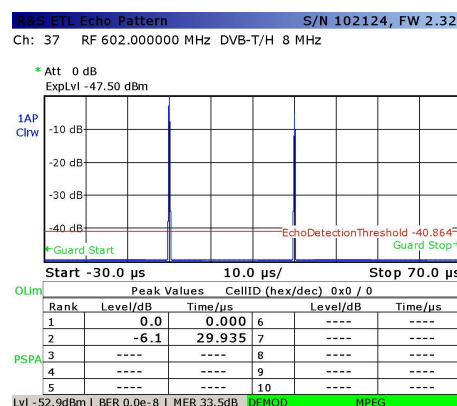


Obrázek B.102: Detail MERu

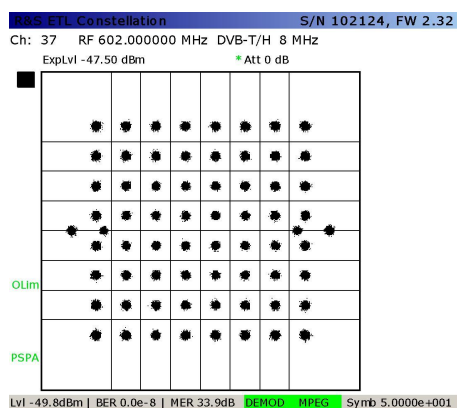
Dva vysílače, časový posuv 30 μ s, rozdíl úrovní 6 dB



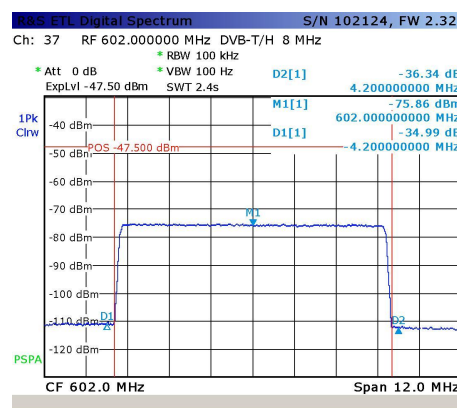
Obrázek B.103: Přehled parametrů



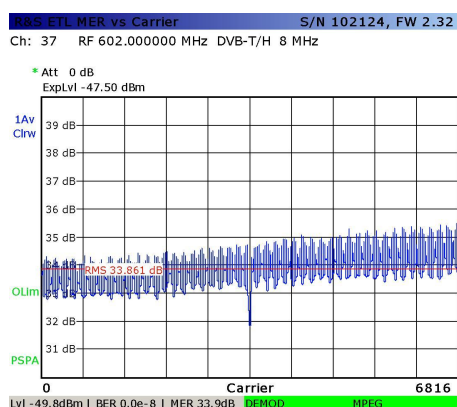
Obrázek B.104: Echo diagram



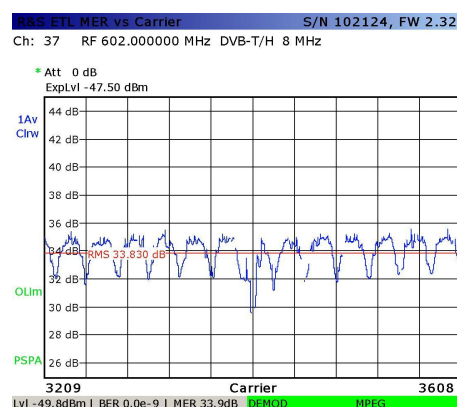
Obrázek B.105: Konstelační diagram



Obrázek B.106: Spektrum signálu

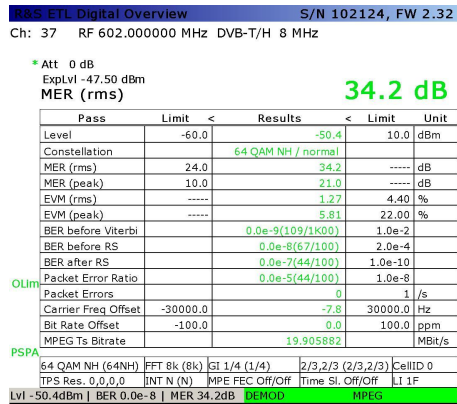


Obrázek B.107: Průběh MERu

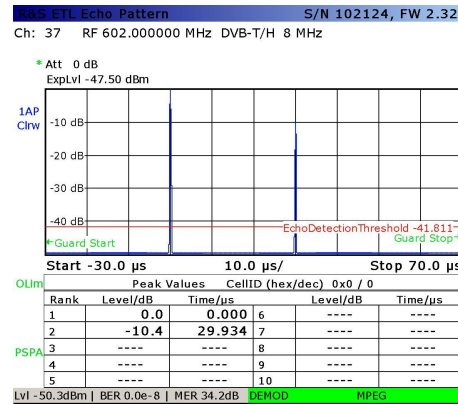


Obrázek B.108: Detail MERu

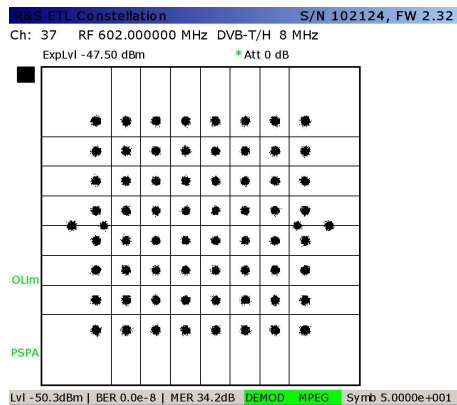
Dva vysílače, časový posuv 30 μ s, rozdíl úrovní 10 dB



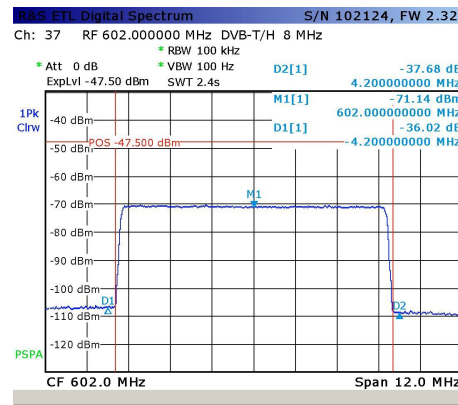
Obrázek B.109: Přehled parametrů



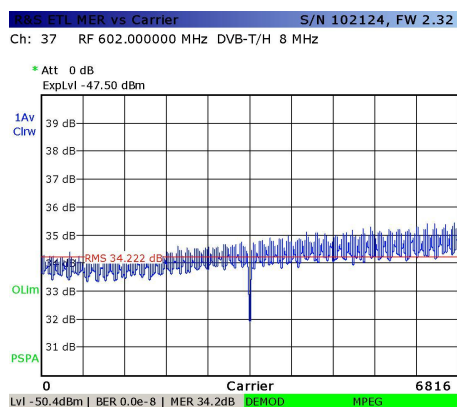
Obrázek B.110: Echo diagram



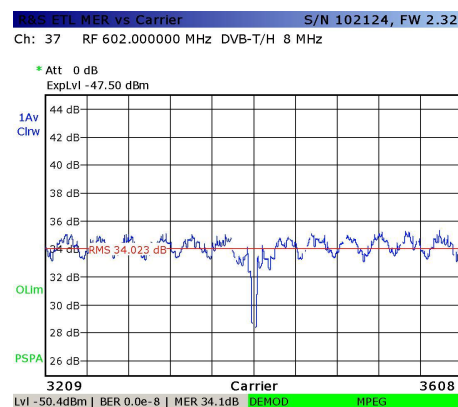
Obrázek B.111: Konstelační diagram



Obrázek B.112: Spektrum signálu

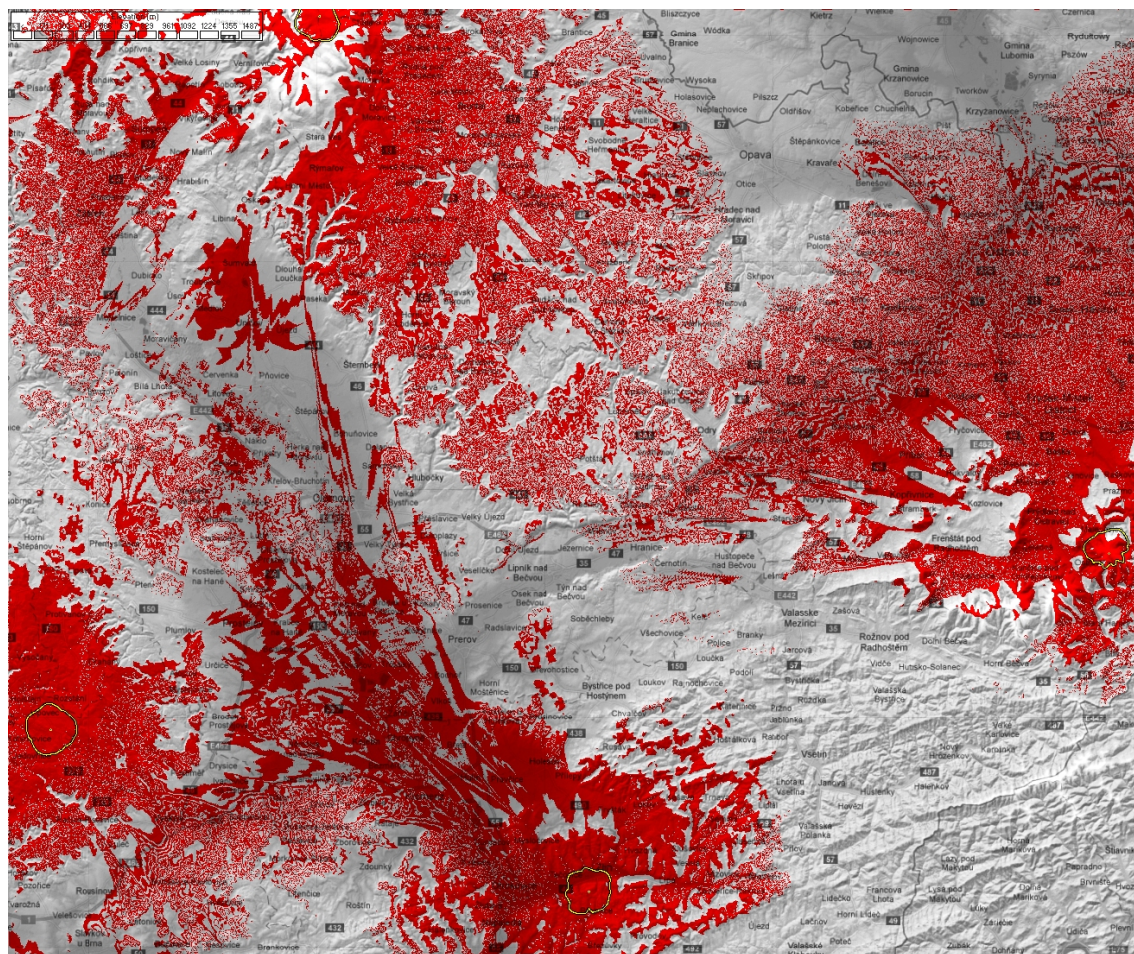


Obrázek B.113: Průběh MERu

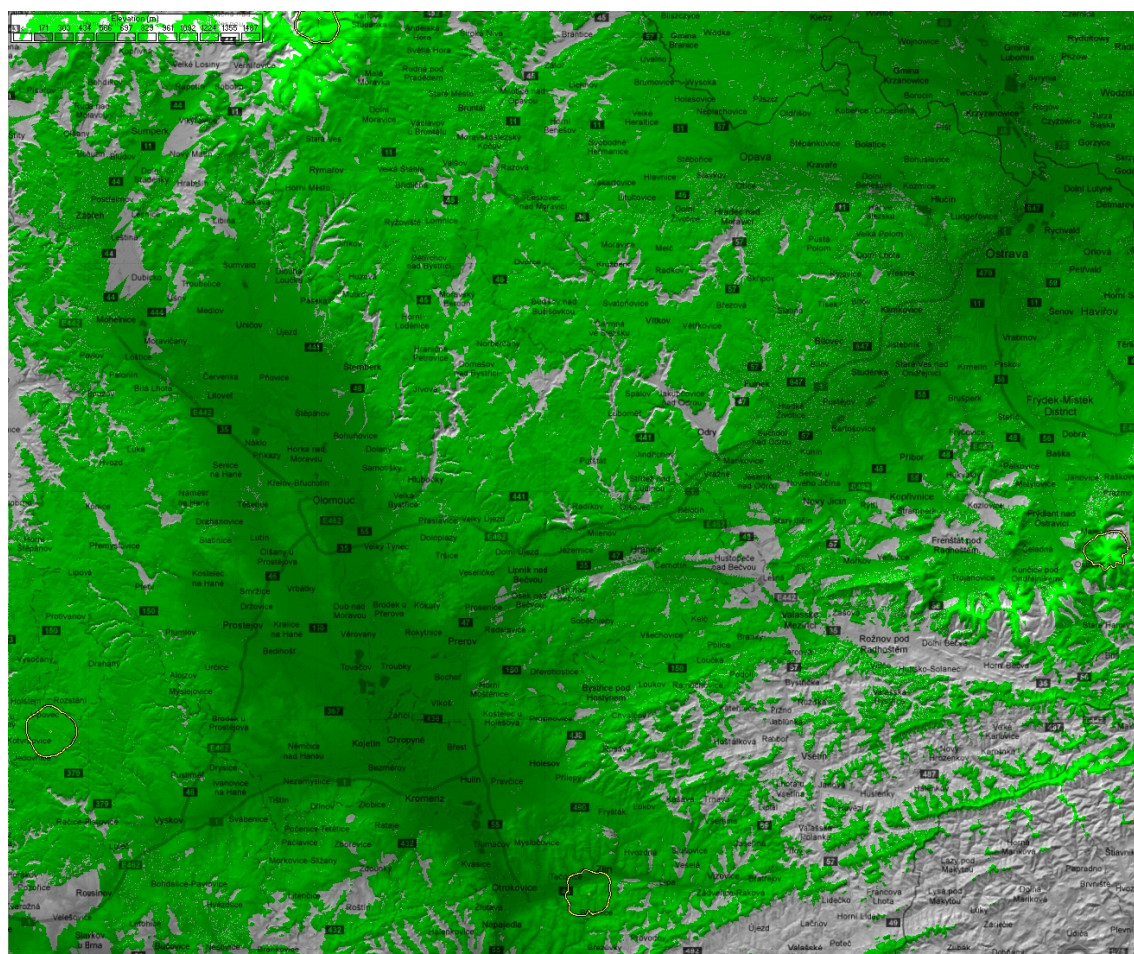


Obrázek B.114: Detail MERu

C Simulace pokrytí vytipovaného území

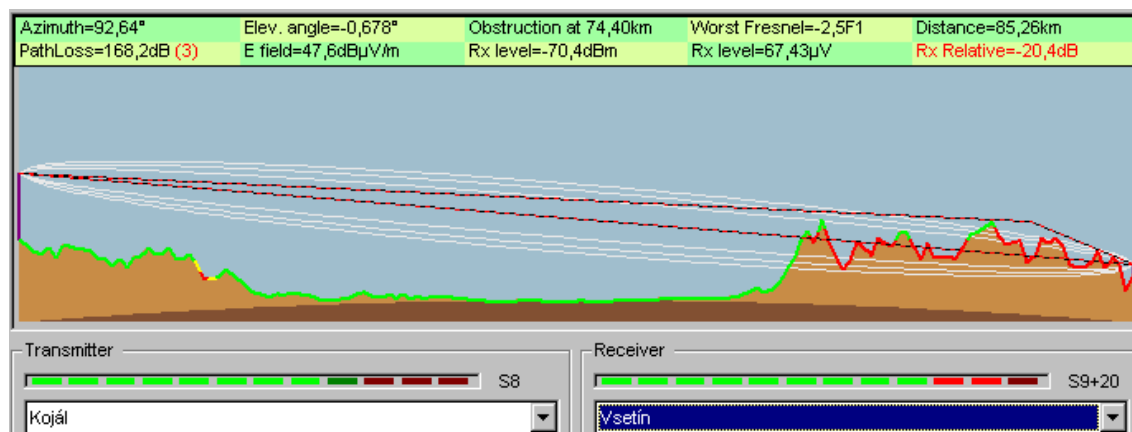


Obrázek C.1: Simulace pokrytí z velkých vysílačů, výkonová úroveň elmag. pole -50 dBm

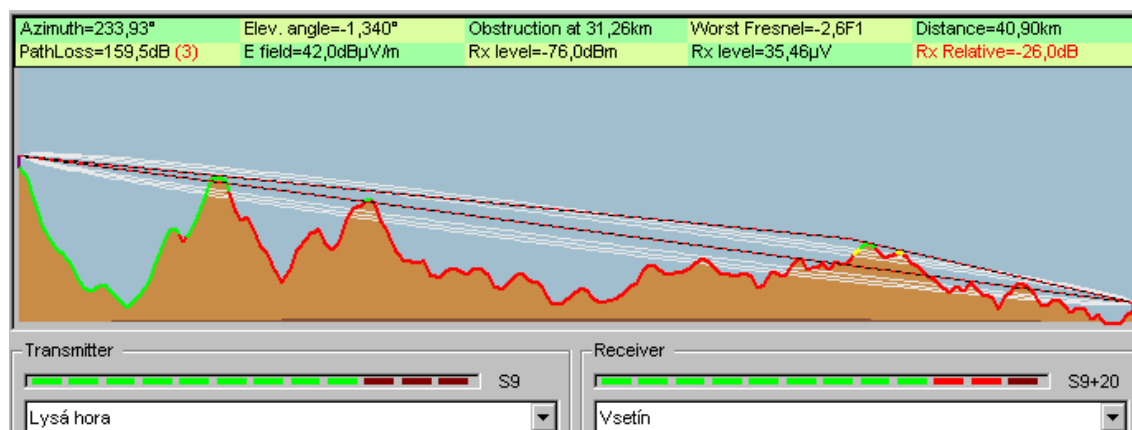


Obrázek C.2: Simulace pokrytí z velkých vysílačů, výkonová úroveň elmag. pole -64 dBm

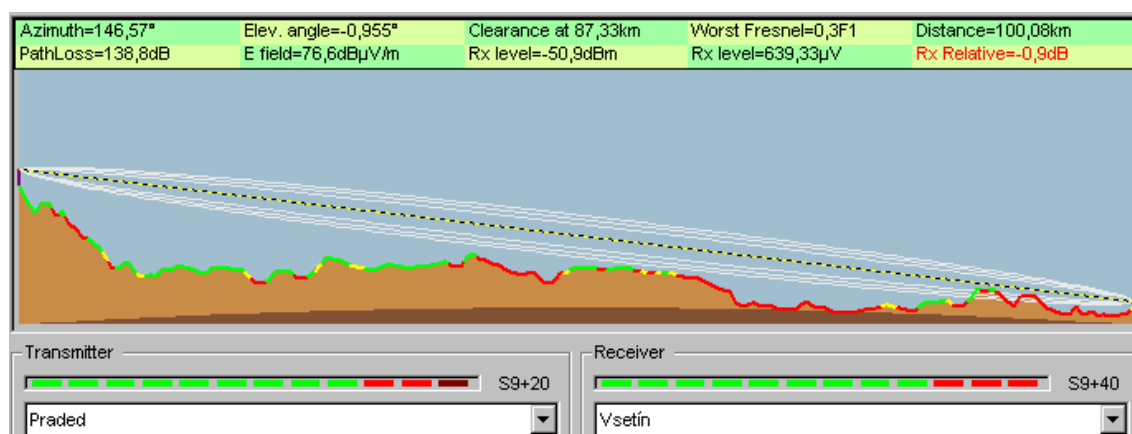
Terénní profily pro objekt Vsetín - Bečevná



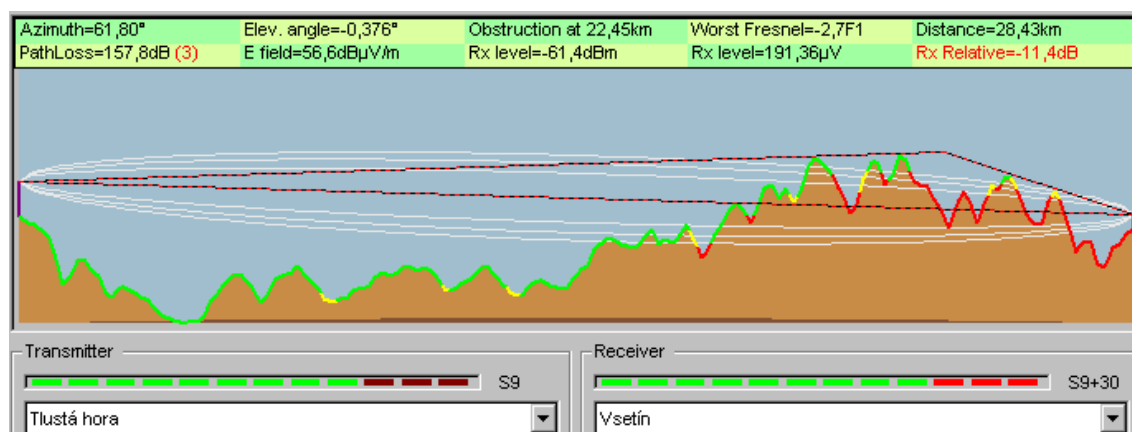
Obrázek C.3: Terénní profil Kojál - Vsetín



Obrázek C.4: Terénní profil Lysá hora - Vsetín

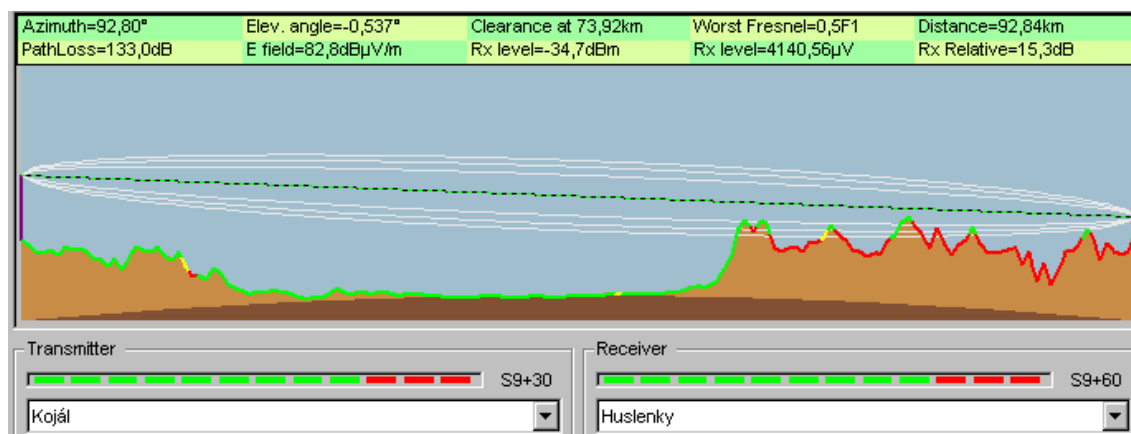


Obrázek C.5: Terénní profil Praděd - Vsetín

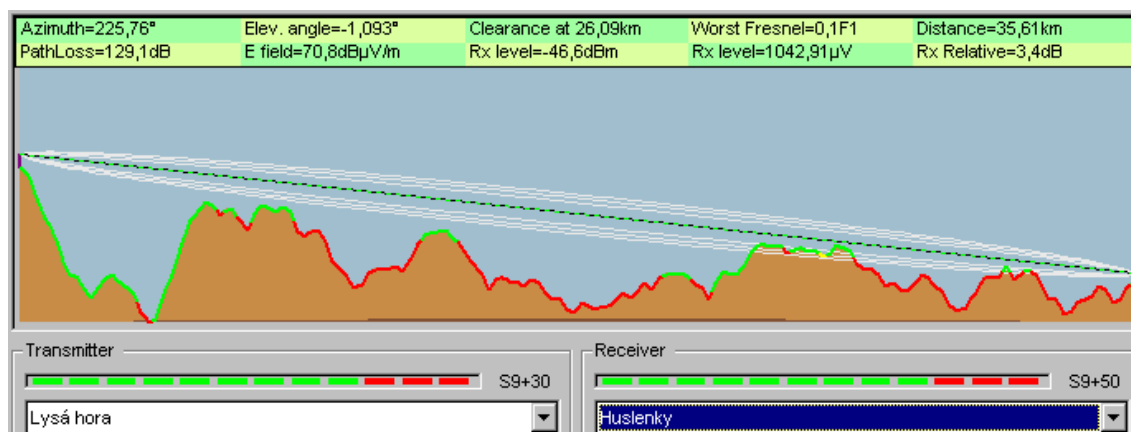


Obrázek C.6: Terénní profil Tlustá hora - Vsetín

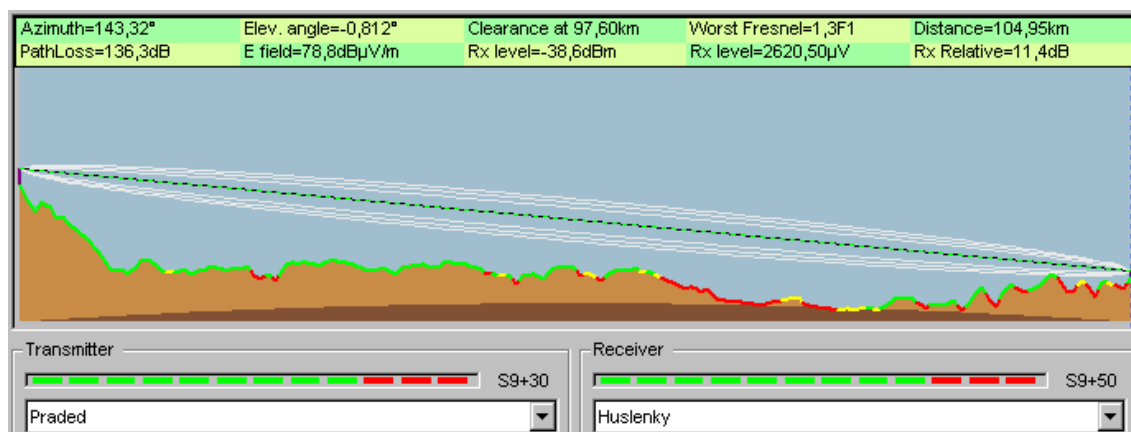
Terénní profily pro objekt Huslenky



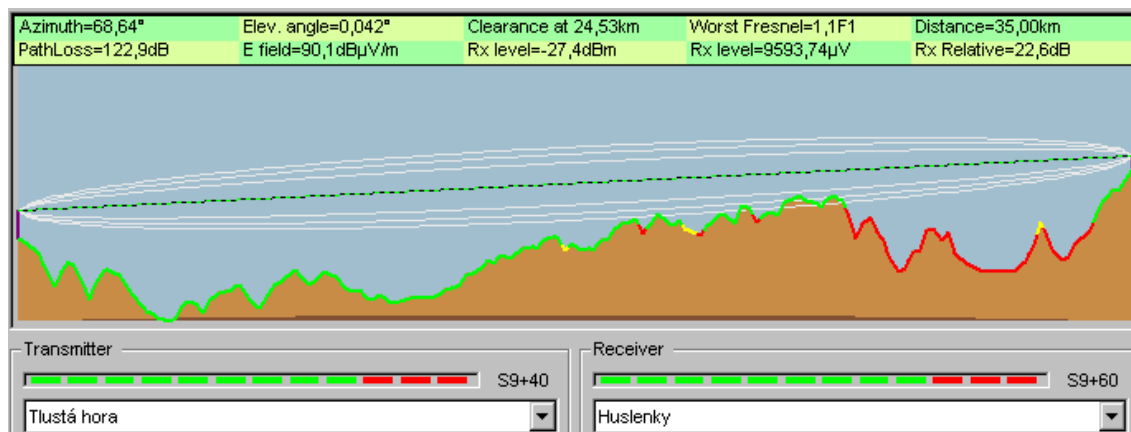
Obrázek C.7: Terénní profil Kojál - Huslenky



Obrázek C.8: Terénní profil Lysá hora - Huslenky

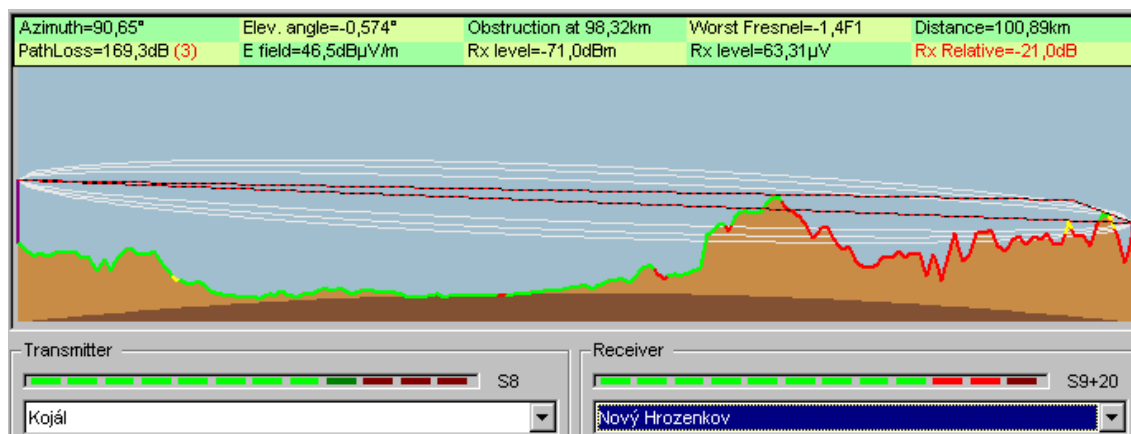


Obrázek C.9: Terénní profil Praděd - Huslenky

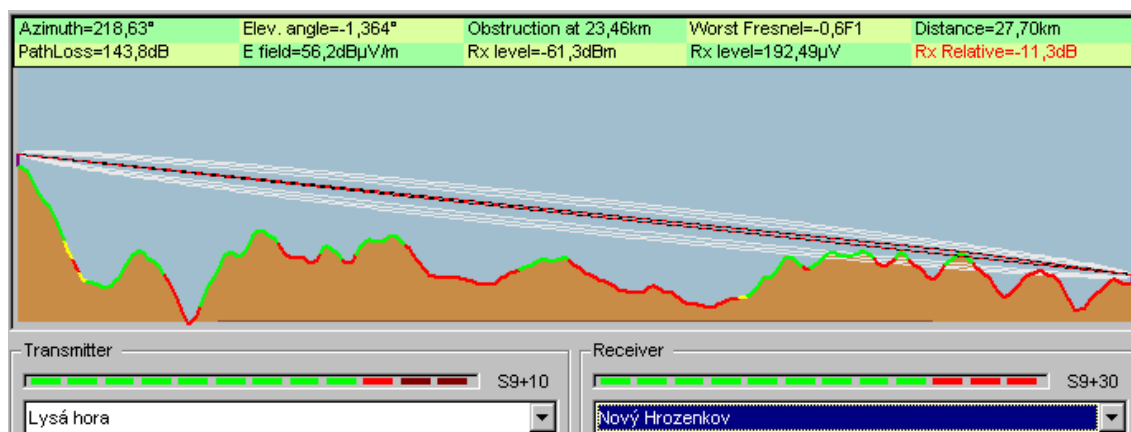


Obrázek C.10: Terénní profil Tlustá hora - Huslenky

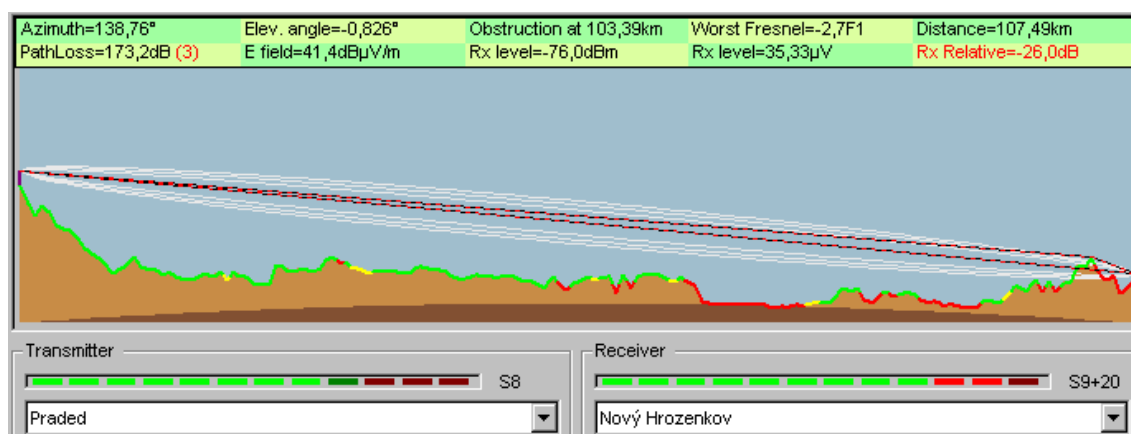
Terénní profily pro objekt Nový Hrozenkov



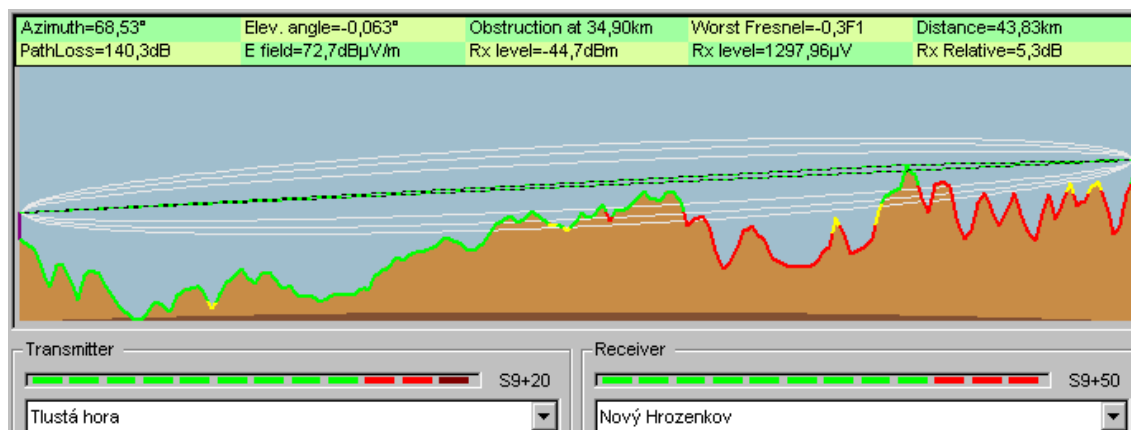
Obrázek C.11: Terénní profil Kojál - Nový Hrozenkov



Obrázek C.12: Terénní profil Lysá hora - Nový Hrozenkov

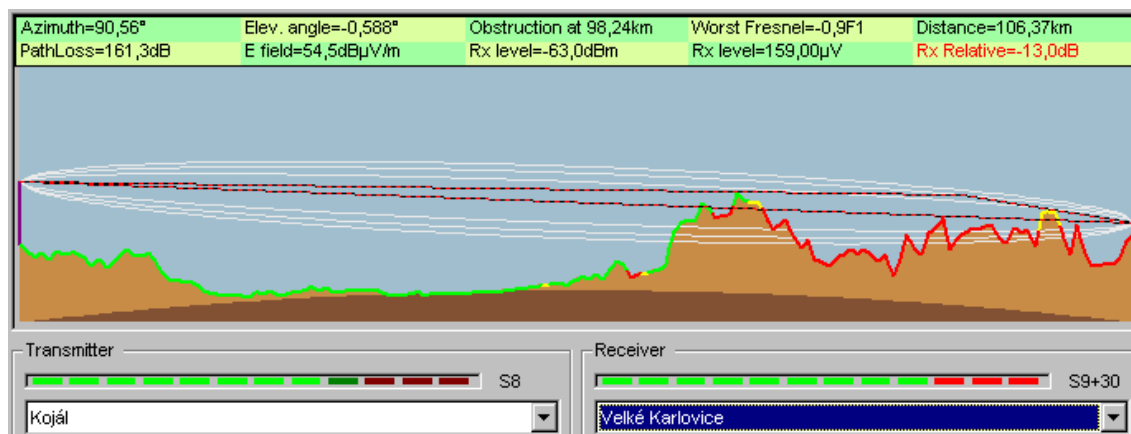


Obrázek C.13: Terénní profil Praděd - Nový Hrozenkov

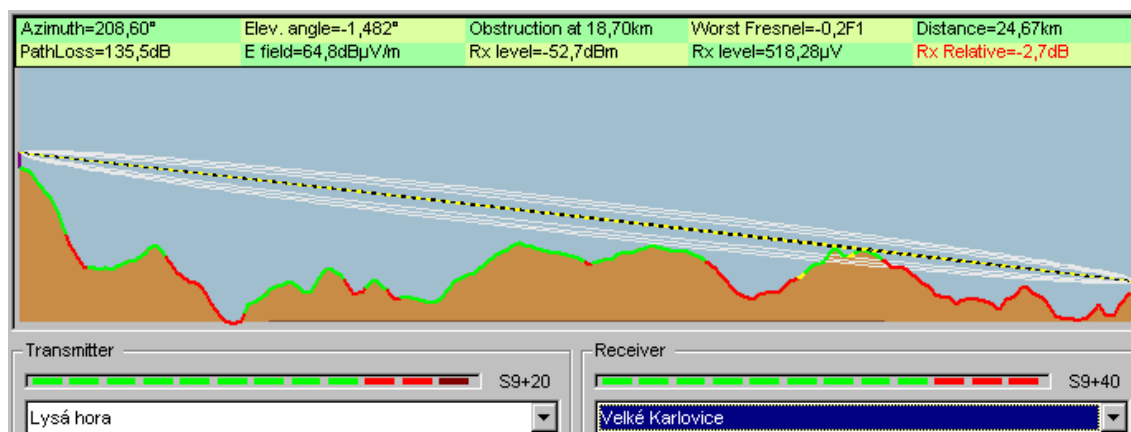


Obrázek C.14: Terénní profil Tlustá hora - Nový Hrozenkov

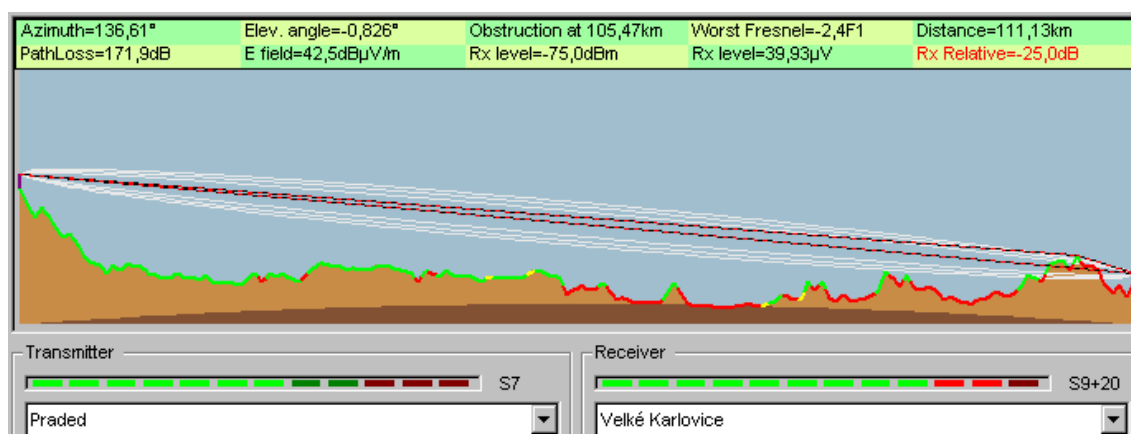
Terénní profily pro objekt Velké Karlovice



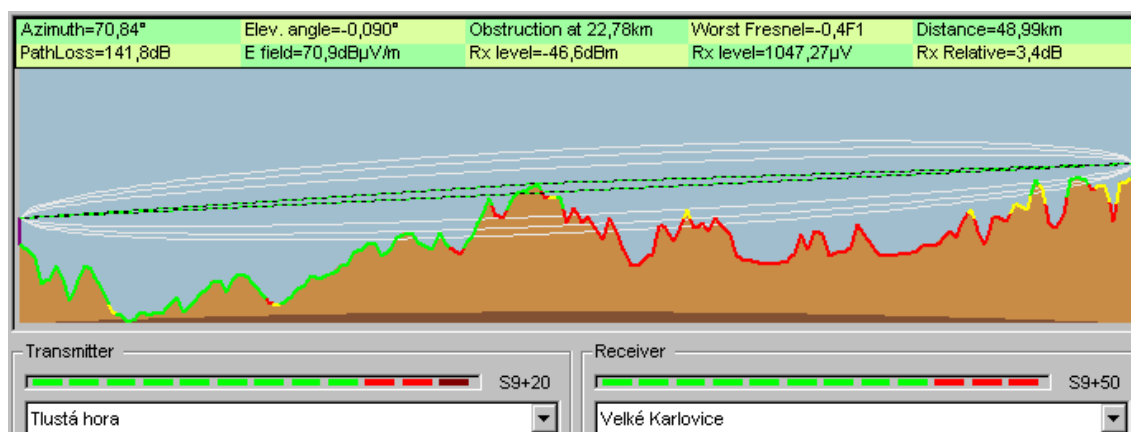
Obrázek C.15: Terénní profil Kojál - Velké Karlovice



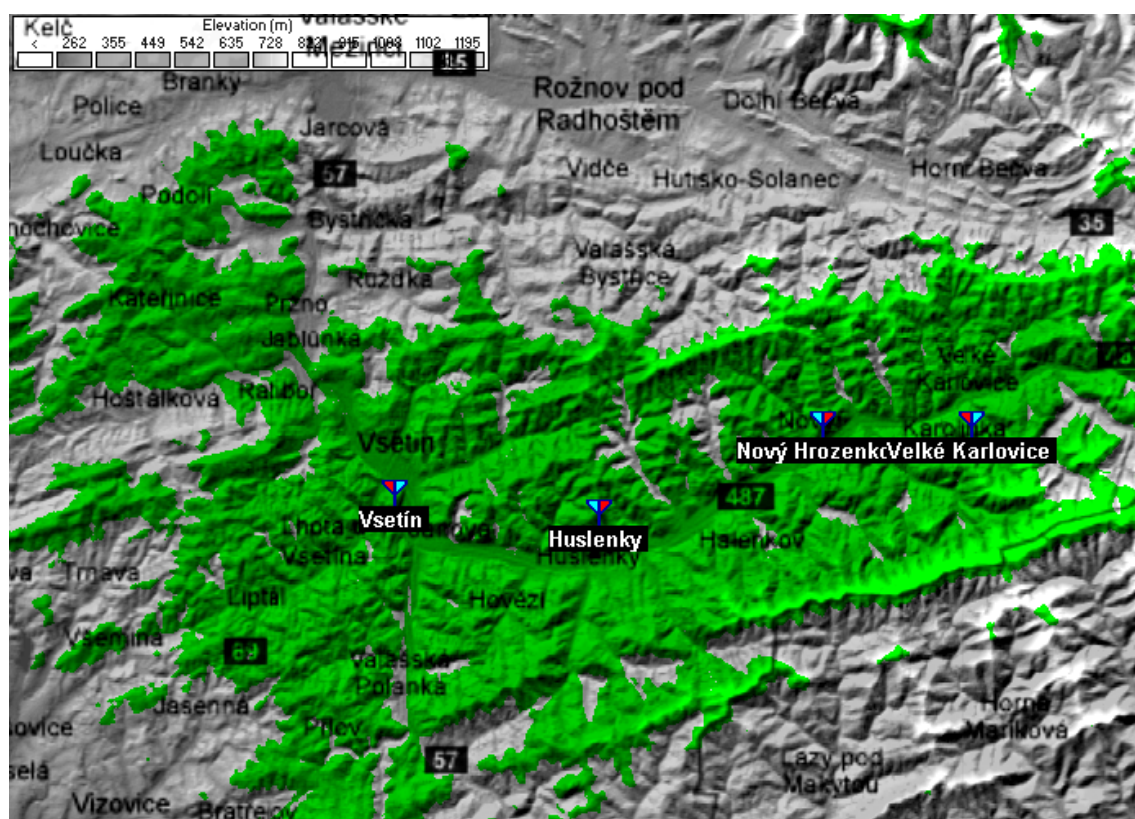
Obrázek C.16: Terénní profil Lysá hora - Velké Karlovice



Obrázek C.17: Terénní profil Praděd - Velké Karlovice



Obrázek C.18: Terénní profil Tlustá hora - Velké Karlovice



Obrázek C.19: Celkové pokrytí dokrývané oblasti